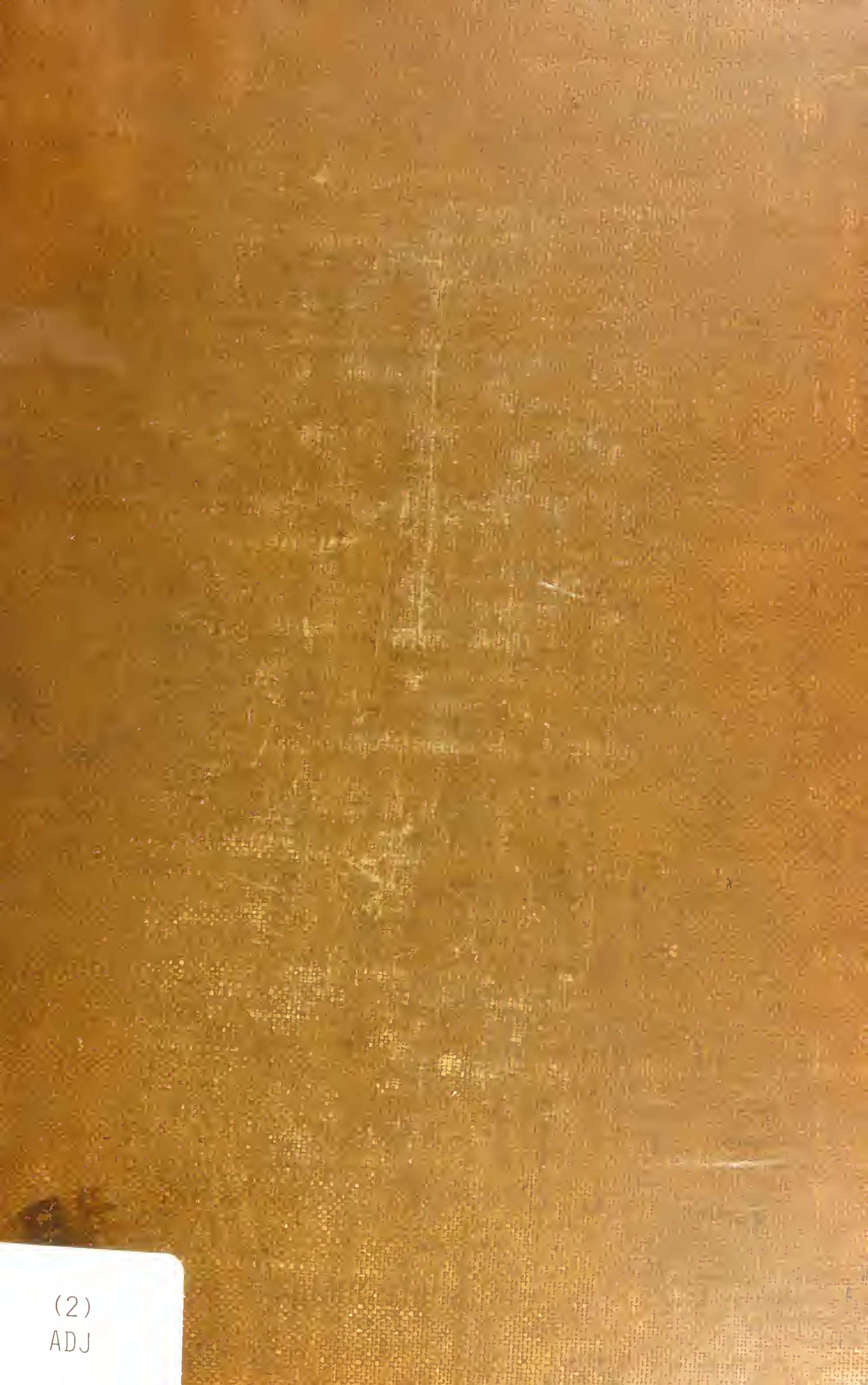
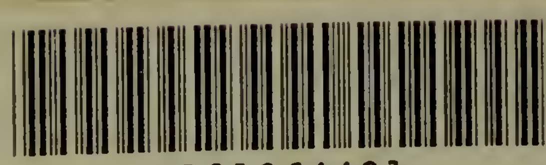

(2)
ADJ


WELLCOME
HISTORICAL MEDICAL LIBRARY


22101264421

RECHERCHES

SUR

LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

27589. — Paris, Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

RECHERCHES

SUR

LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES

ET

LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES,

PAR

le Colonel A. LAUSSEDAT,

Membre de l'Institut,

Directeur honoraire du Conservatoire des Arts et Métiers.

TOME II.

PREMIÈRE PARTIE :

ICONOMÉTRIE ET MÉTROPHOTOGRAPHIE.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE

DU CONSERVATOIRE NATIONAL DES ARTS ET MÉTIERS,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1901

(2)

Galler

(2) ADJ

RECHERCHES
SUR
LES INSTRUMENTS, LES MÉTHODES
ET
LE DESSIN TOPOGRAPHIQUES.

CHAPITRE III.

ICONOMÉTRIE ET MÉTROPHOTOGRAPHIE.

CONSIDÉRATIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES. PRÉCÉDENTS HISTORIQUES.

I. — *Application directe ou indirecte de la perspective au lever des plans.*

Les progrès de la Topographie, comme ceux des autres arts, ont été naturellement dirigés en vue d'économiser le temps et la dépense pour obtenir un même résultat utile, généralement même supérieur. L'exposé historique qui a fait l'objet des deux premiers Chapitres était destiné à montrer que, dans le cas qui nous intéresse, c'était surtout la durée des opérations sur le terrain que l'on avait cherché à abréger de plus en plus, en simplifiant les mesures directes des distances et des différences de niveau.

Sans revenir sur les détails des procédés en question lesquels se sont modifiés, comme on l'a vu, à mesure que les instruments eux-mêmes se perfectionnaient, abstraction faite toutefois de la méthode des alignements appliquée au Cadastre qui, de propos délibéré, emploie à peu près exclusivement la

chaîne ou les règles, on reconnaît aisément que le but proposé a été atteint plus complètement qu'auparavant depuis que l'on a réduit le nombre des stations, en s'appuyant instinctivement sur les propriétés de la perspective. En chacune de ces stations, en effet, on ne mesure pour ainsi dire plus que des *angles visuels* horizontaux ou verticaux, les premiers (que l'on obtient aussi graphiquement avec la planchette) servant à multiplier les repères de la planimétrie, et les seconds, ceux du nivellement; enfin, depuis le commencement et surtout depuis le milieu de ce siècle, on a eu recours aux *angles visuels* micrométriques pour lever les détails de la planimétrie par rayonnement, la même visée sur la mire parlante pouvant servir à déterminer la cote du point considéré. C'est ainsi que l'on est parvenu à réduire considérablement les opérations manuelles, et il est facile de se rendre compte du rôle prépondérant que joue déjà la perspective dans ces simplifications.

Des considérations semblables ont été présentées dans l'Avertissement du premier Volume, mais nous devions les reproduire ici pour insister sur les conséquences, si intéressantes, à notre point de vue, de la méthode la plus expéditive dont on se soit avisé jusqu'à présent, laquelle suppose d'ailleurs toujours la détermination préalable d'un nombre suffisant de repères obtenus à l'aide d'une triangulation et d'un nivellement de précision.

Rappelons tout d'abord que, sur les cartes et les plans topographiques complets, le figuré conventionnel du terrain par des hachures n'a été accompagné de cotes de nivellement que fort tard et surtout après l'invention des courbes de niveau; on sait, d'un autre côté, que ce n'est qu'exceptionnellement et pour des plans à d'assez grandes échelles destinés aux ingénieurs que les levers *nivelés par courbes* sont effectués rigoureusement, à grands frais. Généralement, au contraire, le tracé des courbes est exécuté au sentiment, en partant des repères auxquels nous venons de faire allusion, en nombre très restreint, et l'opérateur se laisse guider par les formes du terrain telles qu'elles lui apparaissent aux différentes stations, ce qui exige de sa part une grande attention

et une expérience consommée, les effets de la perspective pouvant lui faire souvent commettre des erreurs graves (1).

Ce rapide aperçu des procédés en usage dans la Cartographie réputée jusqu'ici la plus perfectionnée suffit, pensons-nous, à justifier cette affirmation réitérée de notre part que les vues photographiées (ou dessinées à la chambre claire) prises dans des conditions bien déterminées, de stations habilement choisies, fournissent des éléments tout à fait analogues à ceux que les topographes recueillent sur le terrain, mais beaucoup plus nombreux et dans un temps incomparablement moindre. On serait même tenté de dire que le nombre de ces éléments est en quelque sorte illimité et il convient d'ajouter, à leur très grand avantage, que les vues photographiées qui fixent invariablement les formes apparentes du terrain à chaque station étant des documents que l'on peut consulter toutes les fois que l'on en éprouve le besoin, facilitent singulièrement le travail du topographe dans le cabinet et en assurent l'exactitude en lui permettant de multiplier les repères et *d'interpréter à loisir les apparences,* quand il cherche à tracer les courbes de niveau, ce qu'il ne pouvait faire sur place à moins d'y consacrer un temps considérable (2).

Cette thèse, que nous n'avons cessé de soutenir depuis un si grand nombre d'années, est désormais généralement admise à l'étranger et même en France par tous les esprits indépendants qui ont pris la peine de l'examiner et d'expérimenter la méthode photographique avec l'attention qu'elle mérite.

II. — *Association des vues pittoresques et des plans.*

Il y a d'ailleurs bien d'autres arguments à faire valoir en faveur de l'utilisation des vues pittoresques dans l'art de lever

---

(1) C'est ce qui explique celles que l'on constate en si grand nombre sur la Carte de l'État-Major et, en général, sur les cartes analogues publiées à l'étranger. — *Voyez,* à ce sujet, un article paru récemment dans la *Revue scientifique,* numéro du 12 novembre 1898.

(2) Il est évident, en outre, que les vues photographiées procurent à ceux qui ont le contrôle des travaux topographiques les moyens de vérification les plus prompts et les plus sûrs.

les plans ou plus généralement en Topographie. Il est aisé, par exemple, de montrer qu'en s'abstenant de le faire, on semblerait ignorer les services qu'elles ont déjà rendus à cet art avant l'invention de la Photographie, c'est-à-dire alors qu'il était incomparablement plus difficile de les obtenir.

Après avoir indiqué au Chapitre précédent (Chap. II), les phases par lesquelles a passé le dessin topographique dans les temps modernes, principalement depuis l'invention de la gravure jusqu'au règne de Louis XIV, nous avons constaté que, à cette dernière et brillante époque, les créateurs de la Topographie régulière avaient continué à se servir de la perspective pour *illustrer* leurs plans, aider à les mieux faire comprendre.

Parmi les exemples les plus frappants de cette association préméditée des vues pittoresques et des cartes ou des plans levés géométriquement, nous avons signalé surtout l'œuvre qui porte le nom de *Grand Beaulieu* [1], et les trois Planches IV, V et VI qui en sont extraites montrent clairement le but que se proposaient leurs auteurs et jusqu'à quel point ils l'ont atteint. Si la tradition ne s'est pas perpétuée sous cette forme précise, on se tromperait assurément en méconnaissant le rôle qu'a continué à jouer le dessin pittoresque dans les travaux d'exploration et de reconnaissances topographiques exécutés pendant les deux siècles écoulés depuis la publication du *Grand Beaulieu*.

Il suffirait de se reporter aux Atlas de l'expédition d'Égypte et des campagnes de Bonaparte en Italie par Baggetti et par Carle Vernet dont nous avons déjà parlé, à celui de l'expédition de Morée et à bien d'autres encore (nous nous bornons aux plus célèbres parmi les publications faites en France) pour constater ce besoin du pittoresque à côté des œuvres topographiques les plus parfaites et des relevés d'architecture les plus soignés.

Ainsi, en nous en tenant à l'expédition d'Égypte, où les plus illustres savants étaient accompagnés d'ingénieurs et d'archi-

---

(1) On sait que l'on désigne ainsi le Recueil général qui a pour titre : *Les glorieuses Conquêtes de Louis le Grand; Cartes, profils, plans des villes avec leurs attaques, combats, batailles*, etc.

tectes du plus grand mérite chargés de lever les plans des champs de bataille, des villes, des magnifiques monuments des pharaons, on n'avait pas oublié de leur adjoindre d'habiles dessinateurs, et il arrivait même souvent que les talents de savant, d'ingénieur et d'artiste se trouvaient réunis chez le même opérateur.

Si les plans et les vues des édifices, des villes ou des sites célèbres ne sont pas toujours rapprochés, mis en regard les uns des autres, dans cet admirable Ouvrage, il n'est pas moins facile, dans la plupart des cas, de reconnaître l'étroite relation qui existait entre les deux opérations (1).

---

(1) Deux des plus jeunes membres de cet *Institut d'Égypte*, dont notre pays aura toujours le droit de s'enorgueillir et le devoir de se souvenir, Caristie et Jomard, sortis de l'École Polytechnique à peine créée et que j'ai eu l'insigne honneur de connaître, déclaraient chacun à qui voulait l'entendre que leurs collègues comme eux-mêmes n'avaient jamais séparé les deux conditions essentielles de l'œuvre entreprise : la précision des mesures et des relevés de toute sorte et l'effet artistique des monuments représentés en perspective ainsi que des paysages qui les encadraient le plus souvent.

Caristie, qui était entré à l'École des Beaux-Arts à sa sortie de l'École Polytechnique, et qui dessinait admirablement, avait souvent fait usage de la chambre obscure en Égypte, en attendant la chambre claire dont il se servit en Italie dès les premiers temps de son invention. Il devint membre de l'Académie des Beaux-Arts et a laissé la réputation d'un très savant et très habile architecte. C'est avec la chambre claire qui lui avait appartenu que j'ai fait mes premiers essais d'Iconométrie et je devais lui payer ici un tribut de reconnaissance.

Jomard était ingénieur-géographe et, en dessinant les monuments couverts d'hiéroglyphes en même temps qu'il exécutait ses travaux topographiques, il avait acquis une véritable érudition qui l'aida à entrer à la Bibliothèque nationale en qualité de Conservateur au département des Cartes et Plans; il s'était beaucoup occupé de la gravure des planches de l'Atlas du grand Ouvrage sur l'Égypte, ce qui fut cause, lors de son élection à l'Académie des Inscriptions, de la célèbre boutade de l'un de ses concurrents qui n'était autre, malheureusement pour lui, que Paul-Louis Courier. (*Voyez* dans les OEuvres du célèbre pamphlétaire la *Lettre à Messieurs de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.*)

Malgré le talent incontestable des architectes et des ingénieurs de l'Institut d'Égypte et malgré l'emploi accidentel fait par quelques-uns d'entre eux de la chambre obscure, on ne saurait comparer l'exactitude de leurs dessins, surtout au point de vue des détails, avec celle que donne aujourd'hui sans peine la Photographie. C'est ce que faisait déjà si bien ressortir Arago dans le Chapitre X de sa *Notice sur le Daguerréotype*, intitulé : *Avantages de la Photographie* (t. IV des *Notices scientifiques* dans les *Œuvres complètes*. Paris, Gide; 1858).

« A l'inspection des premiers tableaux que M. Daguerre a fait voir au

On n'avait pas attendu, d'ailleurs, l'expédition d'Égypte pour attacher des dessinateurs, en même temps que des naturalistes, aux missions scientifiques et géographiques confiées à nos hardis et illustres navigateurs du siècle dernier, dont la tradition s'est conservée jusqu'à nos jours ([1]).

La tâche de ces artistes commençait dès que les navires sur lesquels ils étaient embarqués arrivaient en vue d'une terre dont ils dessinaient les aspects, même du large, et l'on aperçoit là l'origine des vues de côtes si merveilleusement utilisées par Beautemps-Beaupré qui, même avant d'avoir servi à la construction des cartes et en dehors de cette préoccupation, avaient été et continuent à être annexées à celles qui contiennent des rades, des ports ou des mouillages pour guider les navires qui veulent y entrer ou les atteindre sûrement.

L'association des vues et des plans est ici des plus évidentes, des plus intimes, les points d'où ont été prises les vues étant marqués sur les cartes, ce qui permet dès lors d'orienter chacune des premières et de constater l'accord des détails qu'on y découvre avec ceux qui figurent sur la carte.

---

public, disait l'illustre physicien, chacun a songé à l'immense parti qu'on aurait tiré pendant l'expédition d'Égypte d'un moyen de reproduction si exact et si prompt; chacun a été frappé de cette réflexion que, si la Photographie avait été connue en 1798, nous aurions aujourd'hui des images fidèles d'un bon nombre de tableaux emblématiques dont la cupidité des Arabes et le vandalisme de certains voyageurs ont privé le monde savant. Pour copier les millions et millions d'hiéroglyphes qui couvrent, même à l'extérieur, les grands monuments de Thèbes, de Memphis, de Karnak, etc., il faudrait des vingtaines d'années et des légions de dessinateurs. Avec le Daguerréotype, un seul homme pourrait mener à bonne fin cet immense travail. Munissez l'Institut d'Égypte de deux ou trois appareils de M. Daguerre, et sur plusieurs des grandes planches de l'Ouvrage célèbre, fruit de notre immortelle expédition, de vastes étendues d'hiéroglyphes réels iront remplacer des hiéroglyphes fictifs ou de pure convention; et *les dessins surpasseront partout en fidélité, en couleur locale, les œuvres des plus habiles peintres; et les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la Géométrie permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices.* »

([1]) M. le Dr Hamy rappelait encore récemment les services rendus à la Géographie et à l'Ethnographie par les dessinateurs attachés à la mission de d'Entrecasteaux. Dans bien des cas, les aptitudes artistiques des officiers de terre et de mer ont été mises elles-mêmes à profit avec le plus grand succès, par exemple, pendant l'exploration du Mékong par Doudart de Lagrée.

On trouve de même, quelquefois, dans les relations des explorateurs aussi bien que dans les Ouvrages descriptifs des contrées connues depuis longtemps, des vues pittoresques et des cartes sur lesquelles les points de vue et même l'angle visuel sont aussi indiqués, mais cette précaution, si simple cependant, est assez rarement prise et cela est à regretter, car elle éviterait souvent au lecteur la question qu'il est naturellement obligé de se faire sans cesse et la peine de chercher à y répondre.

Quoi qu'il en soit, de tout temps, les relations de voyages *illustrées* ont été les plus recherchées, et aujourd'hui plus que jamais (1). Il est incontestable, en effet, que lorsque l'on y trouve à la fois des cartes, des plans et des vues pittoresques, le récit gagne en intérêt et surtout en clarté (2).

La Géographie générale qui s'occupe des différentes contrées, de leur étendue, de leur climat, du nombre des villes ou des villages et de leurs habitants, de la division de chacune d'elles en pays de plaines, de collines ou de montagnes, de savoir si ces pays sont boisés ou non, cultivés, laissés en friches ou même arides, en d'autres termes, de la population, de la nature du sol et des productions que l'on en peut tirer,

---

(1) On sait que la vogue des publications illustrées s'est développée, il y a déjà plus de soixante ans et surtout depuis les progrès de la gravure sur bois, d'une manière on peut dire merveilleuse. La popularité de l'illustration en France peut même être précisée : elle date de la création du *Magasin pittoresque*, en 1833, par l'excellent Éd. Charton, qui publiait encore et successivement, dans le même esprit et l'on peut dire avec la même préoccupation philosophique et patriotique à la fois, une *Histoire de France*, d'après les monuments de toute nature, un choix des plus judicieux des voyages et découvertes géographiques, sous le titre de : *Voyageurs anciens et modernes*, et organisait enfin cette importante publication de journaux et de récits des voyageurs contemporains : *Le Tour du Monde*, qui forme un recueil si précieux, dont la maison Hachette a assuré le succès en ne cessant de lui donner tous ses soins, en y intéressant des artistes de grand mérite et en mettant à profit toutes les ressources des procédés nouveaux auxquels la Photographie a donné naissance.

(2) Avant l'invention de l'Imprimerie et de la gravure, les relations manuscrites des voyages étaient souvent accompagnées de miniatures enluminées qui avaient un grand charme, quoiqu'elles ne fussent pas toujours d'une vérité irréprochable. Le *Livre des Merveilles* et d'autres encore que l'on trouve à notre Bibliothèque nationale donneraient une idée souvent avantageuse de ces premiers temps de l'*illustration*.

comprend en outre l'étude détaillée des accidents du terrain, celle de la direction, de l'importance des cours d'eau, de leur navigabilité, des autres voies de communication, des travaux d'art, qui sont le principal objet de la Topographie et de la Cartographie, et qui donnent également l'occasion de fixer par le dessin, et aujourd'hui si facilement par la Photographie, le souvenir des sites, celui des vues intérieures et extérieures des villes, de l'architecture des édifices, sans parler de tout ce qui se rapporte à l'Ethnographie.

Tels sont, en effet, les renseignements et les documents que l'on rencontre dans les grands traités de Géographie, dans les Guides de plus en plus précis, enfin dans les journaux de voyage (1).

III. — *La Géologie et les formes du terrain.*

Une science relativement nouvelle, créée à la fin du siècle dernier, d'abord en Allemagne et en France, la *Géognosie*, appelée depuis *Géologie*, et qui s'est développée avec une rapidité prodigieuse dans tous les pays civilisés, est venue à son tour provoquer l'étude plus attentive des *formes du terrain*. Les aspects pittoresques chers aux paysagistes et aux voyageurs en quête d'impressions, si nombreux aujourd'hui sous les noms de *touristes*, d'*alpinistes*, et même de *cyclistes* et d'*automobilistes*, prenaient, en effet, un tout autre caractère aux yeux de ceux qui avaient l'ambition de pénétrer les mystères de la structure du globe terrestre ou tout au moins de l'histoire de son écorce.

---

(1) Nous pourrions citer, en France, après le grand Ouvrage d'Élisée Reclus, une foule d'autres publications faites chez nos meilleurs éditeurs qui, depuis un quart de siècle déjà, mettent à contribution la Photographie sous toutes ses formes, *documents* et *procédés*. Enfin, dans ces derniers temps, on a publié un grand nombre d'Albums qui renferment les reproductions en phototypie ou en photogravure de monuments et de paysages avec lesquels, moyennant quelques indications, rien ne serait plus facile que de relever, sur les uns des points de fuite et des points de distance, sur les autres des angles qui serviraient soit à la restitution des plans et des élévations des monuments, soit à la construction des plans topographiques.

Or on peut voir, dans la plupart des Monographies concernant tel ou tel terrain, telle ou telle contrée (délimitée précisément, presque toujours, par sa nature géologique), publiées depuis un siècle, des dessins d'abord assez naïfs, ou simplement schématiques, puis exécutés avec plus d'art, souvent même avec un véritable talent ([1]). Ces croquis, plus ou moins habilement tracés, étaient destinés à illustrer, d'une manière particulière, les descriptions géologiques, à rendre évidentes et, dans bien des cas, à faire deviner les explications qu'ils accompagnaient ([2]).

Les Monographies et les Ouvrages de Géologie qui contiennent des dessins de ce genre sont désormais innombrables, et nous nous contenterons de rappeler que déjà notre grand géologue Élie de Beaumont, dans sa magistrale *Description de la Carte géologique de France*, publiée de 1841 à 1848, en collaboration avec le célèbre minéralogiste Dufrénoy, avait eu souvent recours aux vues pittoresques dans le but que nous venons d'indiquer ([3]).

Aujourd'hui, ce moyen d'abréger les explications et de rendre visibles, sous tous leurs aspects, les couches géologiques dé-

---

([1]) Par exemple, les vues prises dans les Vosges et dans la vallée du Rhin supérieur, de Hogard; celles des volcans d'Auvergne, dans le bel Ouvrage de Poulett-Scrope, etc.

([2]) Pour guider les futurs géologues, vers 1840, des leçons de *Perspective appliquée au dessin du paysage* étaient faites à l'École supérieure des Mines par l'un des plus anciens élèves de Monge, M. Girard, qui y enseignait en outre le dessin et le lever des plans; mais cette tradition artistique n'a pas été maintenue après la mort de Girard, remplacé par le savant géomètre Delaunay, qui n'a jamais su dessiner.

([3]) Depuis cette époque, il a été publié en France et à l'Étranger, particulièrement en Allemagne et en Autriche-Hongrie, un grand nombre d'Ouvrages, Livres ou Mémoires, dans lesquels on a cherché à faire ressortir les relations qui existent entre la nature géologique et les formes extérieures du terrain. On a étudié aussi les causes qui ont déterminé le modelé actuel et celles qui peuvent le modifier. Nous sommes heureux de pouvoir signaler, à ce propos, deux excellents Ouvrages français parus dans ces derniers temps : *Les Formes du Terrain*, par MM. G. DE LA NOË et Emm. DE MARGERIE (Paris, Imprimerie nationale; 1888), et *Leçons sur la Géographie physique*, par M. A. DE LAPPARENT (Paris, Masson et Cie; 1896), qui mériteraient tous les deux de devenir classiques. Ajoutons que tous les Ouvrages, tous les Recueils de Mémoires sur la Géologie, publiés en France et à l'Étranger, sont actuellement ornés de nombreuses figures qui sont des reproductions de photographies de plus en plus parfaites.

nudées, leurs contournements, leurs plissements, les fractures des roches, les traces des arrachements, les dénivellations produites dans les failles, les érosions, les éboulements, les déjections, les formes géométriques qu'affectent le plus souvent les masses volcaniques, granitiques, calcaires, argileuses, schisteuses, sablonneuses agglomérées (grès) ou pulvérulentes (dunes, cordons littoraux, etc.), ce moyen, disons-nous, de mettre le lecteur (ou l'auditeur) en présence de tels ou tels accidents naturels est devenu si simple, grâce à la Photographie, que tous les Mémoires, tous les travaux des géologues, aussi bien que les reconnaissances et les récits des voyageurs, les leçons des conférenciers, sont désormais remplis à profusion de vues, d'une exactitude irrécusable, d'une vérité saisissante, et qui ont en outre cet avantage inappréciable de n'avoir pris que fort peu de temps à l'observateur.

D'un autre côté, si les vues photographiques peuvent rendre tant de services aux géologues, on devine aisément que la *science du terrain* (*Terrain Lehre, Terrainformen Lehre* des Allemands) que ceux-ci ont véritablement créée à leur tour, devra être souvent d'une grande utilité au topographe, par exemple quand il aura à construire une carte ou un plan à l'aide d'un nombre restreint de vues, sur lesquelles il lui faudra interpréter, identifier des formes géométriques altérées par la perspective; et ce secours lui sera particulièrement précieux, ainsi que nous l'avons déjà fait pressentir, quand il s'occupera du nivellement.

Nous indiquerons plus loin les précautions très simples, mais indispensables, qu'il serait désirable de voir prendre par tous ceux qui, selon l'expression de M. Courtellemont [1], voyagent l'objectif à la main, pour tirer le meilleur parti possible de tant de matériaux, de tant de documents qui vont s'accumulant le plus souvent pour l'unique plaisir des yeux, dans l'intérêt de la Géographie physique et de la Topographie de détail, mais il convient auparavant de remonter aux origines

---

(1) M. Courtellemont est cet avisé et hardi voyageur qui a parcouru, « l'objectif à la main », la plupart des pays musulmans et est allé, non sans danger, jusqu'à La Mecque pour faire connaître à tout le monde cette ville mystérieuse et les mœurs de ceux qui en accomplissent le pèlerinage.

des arts nouveaux que nous avons qualifiés des noms d'*Iconométrie* et de *Métrophotographie*, et qui tous les deux découlent très simplement des propriétés de la perspective et, pour tout dire, n'en font qu'un.

IV. — *Origines de l'Iconométrie et de la Métrophotographie.*

Lambert et Beautemps-Beaupré. — On a fréquemment cité les deux passages suivants de la *Notice* d'Arago *sur le Daguerréotype,* dont nous avons nous-même déjà reproduit le premier dans la note de la page 5, pour prouver que l'idée d'une application possible du nouvel art aux levers topographiques et d'architecture datait de l'époque même de la découverte de la Photographie :

« Les images photographiques étant soumises, dans leur formation, aux règles de la Géométrie permettront, à l'aide d'un petit nombre de données, de remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices. »

Et plus loin :

« Nous pourrions, par exemple, parler de quelques idées que l'on a eues sur les moyens rapides d'investigation que le topographe pourra emprunter à la Photographie [1]. »

---

[1]. C'est dans le Chapitre II de la même Notice qu'Arago avait attribué au physicien napolitain Jean-Baptiste Porta l'invention complète de la chambre obscure. Nous avons reconnu (t. I de ces *Recherches,* p. 392), d'après Libri, dont les assertions ont été confirmées encore récemment par M. Eug. Müntz, que Léonard de Vinci avait précédé Porta dans cette découverte, et nous avions même eu soin d'ajouter que l'observation des phénomènes que l'on provoque en pratiquant une ouverture dans l'un des volets d'une chambre fermée était peut-être plus ancienne encore. Nous ne nous étions pas trompé, car M. Curtze, de Thorn, constate dans le n° 4 de la *Bibliotheca mathematica* de 1898 que, dès le XIVe siècle, Lévy Ben Gerson, que nous connaissons déjà comme l'inventeur de l'arbalestrille, avait établi le principe de la chambre obscure dans un Ouvrage sur la Trigonométrie et le bâton de Jacob (arbalestrille) dont une copie existe à la Bibliothèque nationale de Paris (manuscrit latin 7293 qu'a bien voulu nous signaler M. Eneström) : Capitulum tertium. *In tertio Capitulo ponitur unum primum utile ad cognoscendum semidiametrum Solis et Lunæ per*

On ne saurait placer la thèse que nous entendons soutenir, que nous soutenons depuis si longtemps, sous un meilleur patronage, et l'on ne sera pas surpris quand nous ajouterons que le même pressentiment se trouvait exprimé dans le Rapport de Gay-Lussac à la Chambre des Pairs; mais il faut bien convenir que, dans les premiers temps, alors que les images étaient si péniblement obtenues sur des plaques métalliques, leur utilisation par les topographes n'eût guère été facile et, d'un autre côté, on savait bien que les images d'une certaine amplitude éprouvaient sur les bords des déformations sensibles et présentaient des défauts de netteté dues aux aberrations des objectifs.

Pour éviter ces inconvénients et dans le but de permettre des mesures plus simples et plus exactes sur les photographies, un inventeur français, Martens, imaginait, dès 1845, une chambre noire cylindrique, imitée par plusieurs autres personnes en France, en Angleterre et en Allemagne ([1]), avec des variantes ou de réels perfectionnements dans la construction, depuis 1858 jusque dans ces derniers temps, et sur les propriétés de laquelle nous reviendrons un peu plus loin.

On peut toutefois faire remarquer, dès à présent, que la déformation des images n'était évitée sur le tableau courbe que dans le sens horizontal; si donc on eût voulu « remonter aux dimensions exactes des parties les plus élevées, les plus inaccessibles des édifices », comme l'annonçait Arago, ou même prendre des mesures angulaires sur un paysage en pays de montagnes, on aurait pu se trouver encore exposé à commettre des erreurs appréciables, si bien qu'un autre inventeur, le célèbre Porro, en était venu, pour éviter ces dernières, nous l'avons déjà dit (t. I. p. 374), à concevoir une chambre noire sphérique qui n'a d'ailleurs jamais été réalisée et ne semblait guère réalisable.

---

comparationem ad circulum quem describit extra suam deferentem experientiæ tempore et quantitate radiorum ipsorum quæ PER FENESTRAS DOMORUM INTROEUNT.

([1]) Garella (1858), Johnson, Harrison, Silvy (1865), Brandon, Koch, Busch, Benoist (de 1865 à 1875), et plus récemment encore Moëssard et Damoiseau.

Nous décrirons également, dans un autre paragraphe, des appareils panoramiques d'un genre particulier, destinés surtout à enregistrer les angles horizontaux sur toute la circonférence autour de la station, et nous montrerons les graves inconvénients de ce système; mais nous devons, auparavant, faire connaître les véritables origines de celui qui est désormais généralement employé.

Quelques-uns des historiens de la Photogrammétrie ou de la Phototopographie, en Allemagne et en Italie, ont cherché à découvrir dans les anciens auteurs l'idée de la restitution des plans du terrain, d'après les vues pittoresques naturelles, et ils ont cru en apercevoir le germe dans la *Perspective libre* de l'illustre géomètre Lambert (de Mulhouse), publiée à Zurich en 1759. Nous donnons ici le passage visé de cet Ouvrage, afin de ne laisser subsister aucun doute à ce sujet dans l'esprit de nos lecteurs:

« On voit facilement, dit Lambert, que *le problème de la restitution du plan au moyen de la perspective* présente une analogie complète avec celui de la Géométrie (pratique) dans lequel on se sert de la hauteur d'une maison, d'une tour ou d'une montagne comme d'une station, pour représenter en plan la surface environnante, et, pour cela, on utilise la hauteur du lieu, on mesure les angles de dépression des objets, et l'on détermine leur écartement de la méridienne (leur azimut) sur un rapporteur, ou par les angles formés avec cette méridienne..., on peut ainsi déterminer la position de ces points sur le plan absolument de la même manière que si celui-ci avait été fait sur le terrain d'après les règles de l'arpentage (1) ».

Il semble bien, d'après ce texte, ou plutôt il est évident que Lambert suppose qu'il s'agit de *restituer le plan de la surface environnante* au moyen d'une *perspective unique,* et par conséquent dans le cas d'un terrain parfaitement horizontal. Ce qu'il y a de certain, c'est qu'il n'existe, à notre connais-

---

(1) LAMBERT, *Freie Perspective*. Zurich, 1759.

sance du moins, aucun exemple de l'application de ce principe restreint, tandis qu'en se reportant à l'invention du trait perspectif en Italie, qui date du XVIe siècle, il est indubitable que le problème inverse de la mise en perspective d'un ou même de différents monuments rapprochés les uns des autres, d'après leurs plans et leurs élévations, c'est-à-dire la restitution de ces plans et de ces élévations d'après des perspectives, a été résolu depuis longtemps de la manière la plus complète. On sait, en effet, que cette solution est enseignée de vieille date dans nos écoles, et pratiquée constamment depuis plus d'un siècle, car elle était familière aux artistes attachés à l'expédition d'Égypte dont plusieurs, nous l'avons rappelé plus haut, ont fait usage de la chambre obscure (1) pour se procurer des perspectives exactes des monuments.

Nous continuerons donc, ainsi que nous l'avons déclaré si souvent, à considérer Beautemps-Beaupré comme le premier qui ait construit des *plans topographiques à l'aide de vues pittoresques prises de deux stations au moins*, et, toujours pour mettre le lecteur à même de se prononcer en connaissance de cause sur ces questions de priorité, nous allons reproduire, une fois de plus, un passage que nous avons souvent cité dans nos publications antérieures :

« Après avoir adopté, dit Beautemps-Beaupré, le cercle à réflexion pour mesurer les distances angulaires des points remarquables des côtes et avoir reconnu la possibilité d'observer *au même instant* un très grand nombre d'angles, je jugeai qu'il fallait encore chercher le *moyen le plus sûr et le plus facile de désigner les positions auxquelles appartenaient ces angles, soit qu'ils fussent pris d'une station à la mer ou* D'UNE STATION À TERRE. L'emploi des lettres de l'alphabet et des chiffres pour désigner les objets qui n'avaient point de noms conduisait, il est vrai, au but qu'il fallait s'efforcer

(1) On pourra remarquer que nous disons tantôt chambre *obscure* et tantôt chambre *noire;* nous supposons que le lecteur sait que le premier de ces deux noms est le plus ancien et que c'est depuis l'invention de la Photographie que l'on a été amené à désigner l'instrument sous le nom de *chambre noire,* en réservant celui de *chambre obscure* pour la pièce du laboratoire où l'on développe les épreuves.

d'atteindre, mais en se bornant à ce moyen, on s'exposait à commettre des erreurs d'autant plus graves qu'il n'y avait pas à espérer de vérification. *Je crois avoir trouvé la manière d'éviter ces erreurs* en faisant, à CHAQUE STATION, UNE VUE DE CÔTE où non seulement on indique par des lettres ou par des chiffres les objets les plus remarquables, mais *où l'on écrit les mesures des angles observés* ainsi que les gisements des pointes relevées les unes par les autres, l'estime des distances, etc.

« *Cette manière d'opérer, que j'ai constamment suivie, m'a procuré l'avantage d'avoir toujours sous les yeux, en construisant mes cartes, les objets tels qu'ils s'étaient présentés lors des relèvements, et bien souvent elle a servi à me faire reconnaître des erreurs qui s'étaient glissées dans les observations* (¹) ».

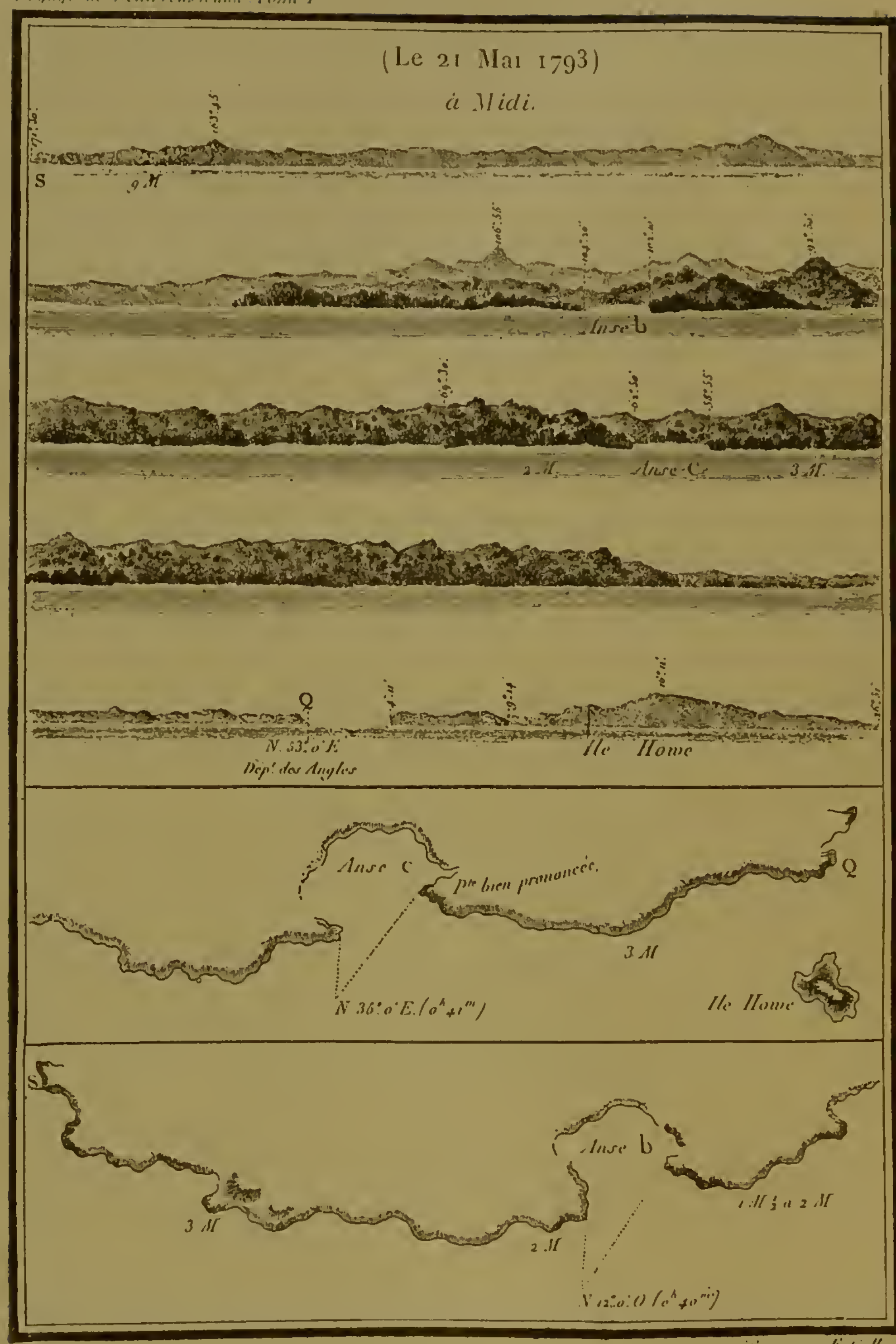
Ces dernières lignes, qui font si bien ressortir les propriétés des *perspectives dessinées,* devraient être imprimées en lettres d'or en tête de toutes les instructions données à ceux que l'on charge de travaux de reconnaissances, à terre comme en mer, car aujourd'hui, qu'ils sachent ou non tenir un crayon, ils ont la *Photographie instantanée* à leur disposition, et les vues qu'elle leur procure si libéralement et si fidèlement jouissent encore plus complètement que les autres de cette propriété inappréciable de *dénoncer les erreurs qui pourraient s'être glissées dans les observations,* on peut même dire de les éviter tout à fait, car il reste un si petit nombre d'angles à observer, avec la méthode photogra-

---

(¹) *Méthode pour la levée et la construction des Cartes et Plans hydrographiques,* par BEAUTEMPS-BEAUPRÉ. Paris, Imprimerie impériale, 1811, déjà publiée en 1808.

Nous empruntons à cet important Ouvrage trois figures destinées à bien préciser en quoi consiste la méthode de Beautemps-Beaupré et à en démontrer la supériorité sur celles qui étaient en usage auparavant. La *fig.* 1 donne un spécimen des vues de côtes sur lesquelles sont inscrits les angles observés. Les deux autres représentent (*Pl. I*) la Carte de l'*Archipel de Santa-Cruz* levée par Beautemps-Beaupré, à l'aide de sa méthode, en regard de la Carte du même archipel sous le nom de *Queen Charlotte's Island,* du capitaine anglais Carteret, qui l'avait levée antérieurement par les anciens procédés de relèvement au compas.

Fig. 1.



Fac-similé réduit d'une planche de l'Ouvrage de Beautemps-Beaupré sur *la levée et la construction des cartes et plans hydrographiques.*

phique, qu'il faudrait être bien négligent ou bien distrait pour commettre des erreurs de lecture ou d'inscription.

On nous pardonnera cette digression et ces réflexions que nous appuierons en rappelant que nous n'avons pas attendu les progrès de la Photographie pour mettre en pratique, *à terre*, les conseils de Beautemps-Beaupré, car en dessinant, de 1849 à 1851, des *vues géométriquement exactes*, à l'aide de la chambre claire, nous étions arrivé à des résultats tellement satisfaisants, qu'ils nous avaient aussitôt inspiré à la fois une grande confiance dans la méthode et le désir de l'appliquer aux vues photographiées, en dépit des difficultés que présentaient alors les procédés employés sur le terrain.

Nous aurons à revenir, avec tous les détails nécessaires, sur des essais qui remontent à 1852, et qui sont incontestablement les premiers de ce genre qui aient réussi, ainsi que sur ceux qui les ont suivis, dans lesquels nous avons été habilement secondé par les officiers de la division du Génie de la Garde impériale en 1861, et surtout par M. le capitaine, depuis commandant Javary, de 1863 à 1871. Mais nous voulons auparavant passer en revue les tentatives faites, vers la même époque, par d'autres personnes, soit pour recueillir des documents destinés à construire des panoramas, soit pour poursuivre des études de Géographie physique et de Géologie, soit enfin pour lever des plans topographiques.

V. — *Premières tentatives faites, à partir de 1853, pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances topographiques.*

Pendant le siège de Sébastopol, des photographes français et anglais avaient déjà cherché à prendre des vues des travaux de défense des Russes, et le service photographique anglais, qui était régulièrement organisé, opérait même pendant les sorties et les rencontres auxquelles elles donnaient lieu ([1]).

([1]) Ce service avait été créé d'après le conseil d'un professionnel anglais, J. Majall; le matériel ne comportait pas moins de trente-six grandes caisses avec un équipage un peu bizarre, que les soldats comparaient à une voiture

Dans l'hiver de 1855, quelques mois après la prise de la place, le colonel Langlois, ancien élève de l'École Polytechnique et le célèbre auteur de beaux panoramas militaires, s'était rendu sur les lieux pour composer celui du *Siège de Sébastopol*. Après avoir visité les travaux de l'attaque et de la défense avec le général Niel, « il levait, du haut de la tour Malakoff, dit M. Germain Bapst (d'après les documents communiqués par M. le baron Larrey, de l'Institut), au moyen d'appareils photographiques, les *plans* des positions occupées par les armées et *appliquait ainsi, pour la première fois, la Photographie à la levée des plans panoramiques* (1). »

L'expression de *plan panoramique* ne saurait être confondue toutefois avec celle de *plan topographique*. Le colonel Langlois n'avait nullement besoin de songer à faire une restitution du plan des travaux du siège, déjà exécuté avec le plus grand soin par les officiers du Génie et par les méthodes ordi-

---

d'ambulance et une machine à prendre les bains (*ambulance van and a bathing machine*). Le personnel se composait de deux enseignes, MM. Brudow et Dawson, exercés expressément à la Photographie et placés sous les ordres du capitaine Foulke, sans parler des auxiliaires. Des copies des épreuves obtenues étaient jointes aux rapports des généraux et expédiées à Londres où le Ministre de la Guerre, Lord Panmure, les consultait avec beaucoup d'intérêt. Aussi, en dépit des difficultés que présentait alors la pratique de la Photographie, celle-ci fut introduite dans l'enseignement des écoles militaires, notamment à Woolwich, puis employée en 1857-1858 pendant l'insurrection indienne, dans la guerre de Chine en 1860, pendant la campagne en Abyssinie en 1868, etc. ([a]). Il convient de faire remarquer qu'il ne s'agissait encore que de vues pittoresques, remplaçant avantageusement d'ailleurs les dessins ou les croquis, que l'on consultait utilement, mais sur lesquelles on n'effectuait aucune mesure précise.

L'armée française fit également usage de la Photographie en Italie, où il avait été question de créer un corps spécial, puis au Mexique, mais toujours en recourant à des auxiliaires civils improvisés et en ne se servant que très accidentellement de leurs épreuves, sans les rattacher aux cartes existantes ou aux reconnaissances topographiques, sans les faire concourir à corriger celles-ci ou à les compléter.

(1) *Essai sur l'histoire des Panoramas et des Dioramas*, par Germain Bapst (*Extrait des Rapports du Jury international de l'Exposition universelle de* 1889). Paris, Imprimerie nationale; MDCCCXCI.

([a]) Renseignements en partie empruntés à l'Ouvrage intitulé : *Die Anwendung der Photographie zu militärischen Zwecken*, bearbeitet von Kiesling. Halle, 1896.

L. S.

naires, précisément sous la direction du général Niel [1]. Il ne s'agissait, en effet, pas du tout du plan proprement dit, mais d'une succession de vues embrassant le panorama que l'on découvrait de la tour Malakoff. Il n'y avait là, en réalité, rien de nouveau que l'emploi très naturel de la Photographie substitué au dessin d'après nature que le colonel Langlois avait jusqu'alors employé avec un rare talent [2]. La chambre noire cylindrique de Martens, qui était connue depuis dix ans, aurait trouvé là son application la plus naturelle.

Quelques années plus tard, vers 1858, un médecin de la marine, le Dr Chevallier, imaginait une sorte d'appareil panoramique auquel il donnait le nom de *planchette photographique*, et qu'il destinait spécialement au lever des plans. Nous en parlerons plus en détail en traitant précisément la question du choix de l'appareil photographique, mais nous pouvons dire dès à présent que cet instrument n'a donné et ne pouvait donner que des résultats peu satisfaisants, à cause de la déformation excessive des images, auxquelles il eût été tout à fait vain de recourir (on le verra par les spécimens que nous reproduirons par la suite) pour se faire une idée de l'aspect véritable et du relief du terrain.

---

(1) *Siège de Sébastopol. Journal des opérations du Génie,* par le général Niel. Paris, 1858; in-8° avec planches.

(2) Peut-être, pour se rendre compte d'un seul coup d'œil de l'effet général, le colonel Langlois, comme Baker, l'inventeur des panoramas, rabattait-il circulairement les vues successives et dessinait-il la *perspective rayonnante* dont il sera question plus loin et que l'on peut, à la rigueur, qualifier de *plan panoramique.*

Pour tout ce qui concerne l'exécution actuelle des panoramas et le rôle qu'y jouent la Perspective et la Photographie, on consultera avec le plus grand intérêt l'excellente brochure de M. Germain Bapst; on y verra, notamment à propos des Panoramas de MM. de Neuville et Detaille, comment ces grands artistes, ménagers de leur temps, ont su habilement mettre à profit les ressources de la Photographie, les agrandissements, etc., pour l'exécution du fond du tableau, c'est-à-dire du paysage, en réservant tout l'effort de leur talent pour la composition et la mise en place de leurs figures. Nous pourrions ajouter, de notre côté, que les mêmes procédés sont très habilement employés dans la composition de ses beaux panoramas par M. Poilpot. — Il ne faut pas oublier, d'ailleurs, que c'est à l'habitude qu'avait Daguerre de dessiner à la chambre obscure pour faire ses dioramas qu'il dut d'entrer en relations avec Niepce et de prendre part à la découverte de la Photographie.

VI. — *Tentatives faites à la même époque, pour utiliser la Photographie dans les reconnaissances orographiques et géologiques.*

A la même époque, c'est-à-dire en 1858, un ancien officier du Génie, Aimé Civiale, commençait, avec des appareils de la forme ordinaire, de grandes dimensions et munis d'organes de précision, une série de travaux sur l'importance desquels il convient d'insister, car ils sont les premiers de ce genre qui aient été entrepris, en ouvrant une voie féconde.

Il s'agissait, en effet, d'appliquer la Photographie à l'étude de la constitution physique et géologique des hautes montagnes. Après de premiers essais faits dans les Pyrénées, le courageux et habile opérateur n'hésitait pas à entreprendre l'exploration méthodique de toute la chaîne des Alpes suisses, françaises, italiennes et autrichiennes ([1]). Partout Civiale s'attachait à déterminer, d'une part, la nature géologique des roches et, de l'autre, l'orientation et la situation exacte, sur la carte, des vues panoramiques qu'il allait prendre le plus souvent à de très grandes altitudes.

On se fera une idée du mérite et des difficultés de cette entreprise pour peu que l'on veuille se souvenir qu'à l'époque dont il s'agit, de 1858 à 1868, il fallait employer en pareilles circonstances le papier ciré sec et des appareils de grandes dimensions, les manipulations du collodion humide étant à peu près impraticables et les glaces en général trop fragiles ([2]), enfin les épreuves ne pouvant pas subir, comme aujourd'hui, des agrandissements sensibles. Le format qu'il avait adopté

([1]) Il devait y consacrer dix années de sa vie et des sommes considérables. Aussi croyons-nous devoir donner quelques détails sur cette œuvre de dévouement dont les résultats dépassaient de beaucoup tout ce qui avait été tenté ou même pressenti jusqu'alors dans cet ordre d'idées.

([2]) Deux opérateurs français, très habiles et très entreprenants, les frères Bisson, avaient cependant fait, d'un autre côté, d'assez nombreuses ascensions, en se chargeant de plaques de grandes dimensions et de tout l'attirail nécessaire pour l'emploi du collodion humide, mais ils n'avaient pas persévéré pendant bien longtemps.

était celui de 30 × 40 dont il sacrifiait les bords et qui se trouvait réduit à 27 × 38.

Les travaux de Civiale soumis, année par année, à l'Académie des Sciences, ont reçu la haute approbation des juges les plus compétents ([1]); il les a résumés dans un Ouvrage où l'on peut découvrir un premier et large sillon dans le champ de la *Photogéologie*, dont il sentait bien que celui de la *Topophotographie* était inséparable, mais en même temps trop vaste pour qu'il pût l'aborder à lui seul et avec ses propres ressources ([2]).

Si Civiale n'avait pas eu la prétention irréalisable de construire la Carte générale des Alpes (celle qu'il a dressée pour résumer ses études était déduite des Cartes d'État-Major des quatre pays traversés ou limités par la grande chaîne), ses panoramas n'étaient pas moins exécutés avec un appareil et dans des conditions de précision tels qu'ils lui permettaient de faire de nombreuses vérifications et souvent de constater et de corriger des erreurs.

« Dans chaque station, dit le Rapporteur de la Commission de l'Académie, composée de MM. Regnault, Daubrée et Ch. Sainte-Claire Deville, dans la séance du 16 avril 1866, on a consigné exactement la position et l'orientation de l'axe optique de l'appareil, on a mesuré barométriquement l'altitude, noté l'angle dans lequel le panorama est compris et déterminé, à l'aide d'un goniomètre fort simple, imaginé par l'auteur, les angles verticaux des différents sommets au-dessus de la station. Il sera alors facile, avec l'épreuve photographique et une carte topographique détaillée, de connaître les coordonnées de chaque sommet ou d'un point intéressant par rapport au plan horizontal qui passe par la station. »

Civiale, aussi passionné géologue que vaillant alpiniste et habile photographe, recueillait partout des échantillons de

([1]) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LXII, 1866, p. 873, et t. XCIX, 1882, p. 1074.

([2]) *Les Alpes au point de vue de la Géographie physique et de la Géologie.* Paris, J. Rothschild; 1882.

roches et notait sur chaque épreuve la nature du terrain qui s'y trouvait représenté. Pour les sept années consécutives de 1859 à 1866 dont il était rendu compte dans les Rapports de Ch. Sainte-Claire Deville, l'ensemble de ses travaux photographiques comprenait 25 grands panoramas de 14 vues chacun; le champ de l'appareil était de 30° seulement et le nombre des épreuves un peu supérieur au strict nécessaire pour faciliter les raccordements) et 450 vues de détail.

L'Ouvrage dans lequel Civiale a résumé ses travaux, publié seulement en 1882, contient 14 héliogravures qui sont des réductions données comme spécimens des photographies de l'auteur, toutes très remarquables par le choix du point de vue et de l'éclairement du terrain, dont la collection est déposée dans les archives de l'Académie des Sciences ([1]).

A l'occasion de ces études orographiques par la Photographie, nous mentionnerons encore les vues que le professeur Bardin faisait prendre, à peu près à la même époque, de plusieurs stations convenablement réparties dans le massif du mont Blanc pour l'aider à compléter les renseignements contenus dans la nouvelle et remarquable Carte du commandant Mieulet dont il voulait se servir pour exécuter le modèle en relief du Géant des Alpes. Malheureusement cette œuvre intéressante a été interrompue par la mort du savant homme qui était en même temps un véritable artiste. Nous verrons d'ailleurs que le mont Blanc n'a pas cessé d'être exploré photographiquement et dans des conditions encore plus favorables par d'autres investigateurs du plus grand mérite.

([1]) Civiale avait fait reproduire en phototypie et en vraie grandeur toutes ces épreuves et en avait distribué un assez grand nombre d'exemplaires à ses amis et aux savants qui s'intéressaient à ses études. Pour donner une idée de l'intérêt que présentait cette œuvre vraiment merveilleuse, eu égard à la date à laquelle elle a été entreprise et poursuivie, nous donnons la réduction en demi-grandeur de l'une des 450 vues de détail dont il est fait mention dans le Rapport de l'Académie, et nous ajoutons qu'elle a été prise pour ainsi dire au hasard, dans la collection que nous tenons de Civiale, car elles sont toutes excellentes. (Voyez *Pl. II.*)

VII. — *Premiers essais de Photographie en ballon et plus tard au moyen de cerfs-volants.*

Après une première tentative infructueuse faite en 1856, la même année 1858, déjà souvent citée, voyait s'accomplir une nouvelle merveille de la Photographie qui parut cependant alors peu sérieuse et fit sourire bien des gens, son auteur étant allé jusqu'à dire qu'il pourrait faire en ballon et en très peu de temps une Carte de France plus complète et plus exacte que celle de l'État-Major, et même le Cadastre de tout le pays. Nous voulons parler de la vue, bien décidément à *vol d'oiseau*, de la région de l'arc de triomphe de l'Étoile et de Neuilly déjà très nette et très intéressante qu'avait prise Nadar de la nacelle du ballon captif de Godard alors installé au plus ancien Hippodrome.

On sait les progrès réalisés par les aéronautes photographes depuis que l'on peut opérer instantanément, et nous y reviendrons plus loin en montrant par quelques exemples frappants que la prétention, sans doute exagérée, de Nadar n'était cependant pas de tout point aussi extravagante qu'elle avait pu le paraître d'abord.

En attendant, nous donnons (*Pl. III*), à titre non seulement de curiosité mais de document historique, une reproduction de cette première photographie aérienne.

Les ballons ne sont plus d'ailleurs les seuls engins dont on puisse se servir pour élever dans l'air l'appareil photographique à une hauteur suffisante, permettant d'embrasser de grandes étendues de terrain et d'en faire une rapide reconnaissance; nous aurons, en effet, à signaler des résultats aussi remarquables qu'imprévus obtenus, à l'aide de simples cerfs-volants, par deux ingénieux inventeurs, MM. Arthur Batut, de la Bruguière (Tarn), et Wentz, de Reims.

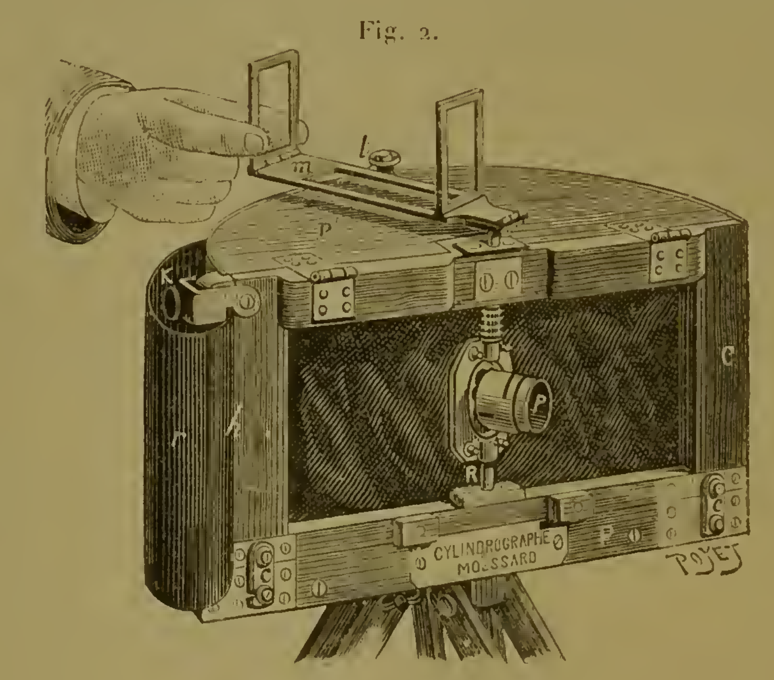
Nous verrons enfin que les principes généraux de la Métrophotographie n'ont pas été seulement appliqués à la Topographie et à la Géographie physique, mais à d'autres arts et à

d'autres sciences, principalement à la Météorologie et à l'Astronomie.

VIII. — *Appareils et méthodes essayés ou proposés.*

Chambres noires cylindriques ou sphériques. — Nous pourrions, à la rigueur, nous dispenser de nous arrêter à l'examen de ces divers appareils, puisque la méthode universellement adoptée aujourd'hui est celle qui s'applique aux images sur tableaux plans, habituellement verticaux, des chambres noires ordinaires ; mais il n'est peut-être pas sans intérêt d'entrer, à ce sujet, dans quelques détails, certains de ces appareils étant

Fig. 2.



Cylindrographe Moëssard.

assurément très ingénieux, et d'expliquer pourquoi, après les diverses tentatives que nous avons mentionnées à leur date et qui ont été renouvelées à plusieurs reprises, les opérateurs ont toujours fini par revenir à l'ancienne chambre noire, qui est la plus simple.

La première idée qui était venue à l'esprit des inventeurs avait été, on le sait déjà, celle des chambres cylindriques dont

nous donnons (*fig.* 2) une figure du type le plus récent et le plus perfectionné.

On cherchait ainsi, avons-nous dit, à éviter, au moins dans le sens horizontal, les déformations dues à l'objectif et à exécuter le panorama entier sur un petit nombre d'épreuves, trois au plus, enfin à avoir sur la ligne d'horizon circulaire, devenue rectiligne après le déroulement, sur une surface plane, des images cylindriques, une graduation en parties égales pour mesurer des angles égaux correspondants, et sur des parallèles à cette ligne, les points situés à la même hauteur angulaire par rapport à l'horizon.

Dans ces derniers temps même, grâce à la sensibilité des pellicules impressionnées et à leur flexibilité, à l'aide d'un mécanisme d'horlogerie ou même en conduisant à la main un appareil très bien conçu, appelé *Cyclographe,* son inventeur, M. Damoiseau, est parvenu à obtenir d'un seul coup un tour d'horizon entier, dont les images sont très nettes, et jouissent naturellement des propriétés qui résultent de la forme cylindrique engendrée par la révolution de l'appareil.

Ces propriétés, que nous venons d'énumérer, ne sauraient cependant compenser les inconvénients que présenterait l'emploi des vues dont il s'agit, déroulées pour les aplanir, dans la construction des plans.

Avant d'aller plus loin, rappelons que les déformations produites par les objectifs sont devenues insensibles sur les tableaux plans pour des amplitudes très grandes, puisqu'elles atteignent facilement 90° et au delà, en sorte qu'à la rigueur on pourrait faire le tour de l'horizon avec quatre épreuves [au lieu de trois, avec les appareils cylindriques ordinaires (1)].

Mais il est rare que l'on ait besoin de ces tours d'horizon complets; et d'ailleurs, dans la pratique, c'est-à-dire quand on

(1) Il y a bien des moyens, connus de tous les photographes, de vérifier les propriétés des bons objectifs aplanétiques. Pour les mettre en évidence d'une manière frappante sur l'un de ceux que nous avons adaptés à nos photothéodolites, nous avions pris, du Champ-de-Mars et du balcon de la galerie centrale des palais de 1889, une vue générale des galeries latérales et des promenoirs couverts qui présentaient une série de lignes droites de grandes longueurs, dans un champ de plus de 90°, sur lesquelles une règle peut être exactement appliquée d'un bout à l'autre.

en vient à construire les plans, il faut éviter de dépasser l'amplitude de 60°, limite déjà élevée pour l'opérateur, qui ne cesse pas d'être un spectateur, et dont l'attention serait fatiguée s'il avait à embrasser d'un seul coup d'œil de trop grandes étendues angulaires.

Il est à noter, à ce propos, que les épreuves obtenues dans les chambres cylindriques et, à plus forte raison, sur les surfaces flexibles du Cyclographe devant être développées sur toute leur étendue, il devient indispensable de les fractionner, de les découper en morceaux pour les examiner et les orienter, quand on veut les utiliser en Topographie.

D'un autre côté, la conservation de la grandeur des angles horizontaux ne présente aucun avantage sérieux, ou plutôt donne lieu à un inconvénient, car elle suppose et exige même que l'on fasse des *lectures*, alors que la méthode employée avec les vues sur tableaux plans les supprime complètement et avec elles les erreurs qu'elles occasionnent si souvent ([1]).

Enfin, et c'est peut-être la considération la plus sérieuse à invoquer en faveur des images familières de la chambre noire ordinaire, la théorie de la perspective a été faite pour elles, ou du moins pour les vues dessinées sur des tableaux plans dont elles ne diffèrent en aucune façon, et il ne serait pas aisé de l'étendre aux panoramas cylindriques. Or cette théorie sera toujours d'un très grand secours, non seulement quand il s'agira de la restitution des plans de monuments d'architecture, mais dans bien d'autres cas dont nous nous occuperons à l'occasion, au nombre desquels nous pouvons déjà citer celui des paysages renfermant des lacs, des côtes baignées par la mer ou même des cours d'eau à faibles pentes ([2]).

([1]) C'est le cas de signaler, dès à présent, l'analogie de la méthode dont il s'agit et de celles qui s'appliquent avec la planchette ordinaire, qui a été imaginée précisément pour éviter la lecture des angles que l'on trace immédiatement, au lieu d'avoir à les mesurer et à les rapporter, c'est-à-dire à faire deux opérations mentales successives dont chacune peut être une cause d'erreur.

([2]) Le tracé des bords du lac ou de la mer ou celui des deux rives des cours d'eau peuvent être, en effet, obtenus très rapidement, à l'aide d'une seule épreuve, soit par points, soit en craticulant, comme nous l'expliquerons ailleurs, et ces procédés sont impraticables avec les panoramas cylindriques.

Ajoutons que l'on peut avoir besoin d'incliner les appareils; c'est ce que l'on fait notamment presque toujours en ballon, et alors encore les règles de la perspective plane s'appliquent aisément et efficacement.

Nous ne dirons que quelques mots de la chambre sphérique projetée par Porro, dont il n'a donné qu'une idée très vague et qui n'a pas été réalisée. L'inventeur croyait, ou plutôt supposait que les déformations dues aux objectifs ne permettaient même pas d'atteindre une amplitude de 10° sur les tableaux plans, ce qui eût obligé de porter à 36 au moins (il parlait même de 50!) le nombre des épreuves nécessaires pour faire le tour de l'horizon. Il s'est également inquiété des déformations dans le sens vertical, et c'est ce qui l'avait conduit à adopter la forme sphérique. Comme avec les chambres cylindriques, il comptait effectuer le tour de l'horizon en trois poses et, sans être jamais entré dans d'autres détails, il prétendait qu'il relèverait tous les angles dont il aurait besoin sur ses clichés, non développables, bien entendu, au moyen d'un petit théodolite spécial (*di tavolino*), ajoutant qu'il opérerait ainsi dans le cabinet, comme il l'aurait fait sur le terrain, mais bien plus à son aise, avec une grande exactitude et une rapidité singulière. Tout cela, il faut en convenir, ressemblait à un rêve qui, nous le répétons, n'a jamais été réalisé et peut être considéré comme irréalisable.

Il est certain, dans tous les cas, que le Mémoire de Porro, qui date de 1863, est resté à l'état de lettre morte, aussi bien dans son pays qu'ailleurs. Il est bien probable, au surplus, que, s'il eût vécu un peu plus longtemps, il se serait vu obligé de revenir de ses préjugés, en présence des progrès accomplis dans la construction des objectifs *aplanétiques* et *rectilinéaires* et qu'il aurait reconnu les avantages des images planes.

IX. — *Appareils et méthodes essayés ou proposés* (Suite).

Panoramas rayonnants. — L'appareil du Dr Chevallier était tout à fait différent de ceux qui viennent d'être mentionnés

et s'éloignait beaucoup plus encore de la forme ordinaire de la chambre noire des photographes.

Avec la *planchette photographique*, il ne s'agissait plus, en effet, d'obtenir une perspective conique sur un tableau plan, cylindrique ou sphérique, mais bien d'opérer la transformation de la perspective panoramique du tour d'horizon entier en la ramenant sur une surface horizontale.

L'idée de cette transformation ou, pour mieux dire, de cette anamorphose remontait au moins à 1827, époque à laquelle le savant géodésien Puissant avait imaginé, pour la réaliser, un instrument qu'il désignait sous le nom de *Panoragraphe* [1].

Le professeur Bardin, qui fut pendant longtemps chef des travaux graphiques à l'École Polytechnique, et dont la science, l'habileté manuelle et le goût sont restés proverbiaux, avait fait à Metz, sur le mont Saint-Quentin et de la butte de Charles-Quint comme point de vue, un essai tout à fait remarquable de ce genre de *perspective rayonnante*, comme on l'a justement qualifiée.

Nous ne pensons pas pouvoir mieux faire, pour mettre le lecteur à même de juger favorablement la perspective rayonnante, que de donner (*Pl. IV*) une réduction du charmant dessin de Bardin qui en est le spécimen le plus intéressant que nous connaissions.

On y remarque, tout d'abord, que les verticales déterminées, par exemple, par la direction habituelle des tiges des arbres, concourent au centre du tableau, et pour peu que l'on veuille y réfléchir, on se rendra compte des difficultés qu'avait présentées la transformation effectuée par Bardin d'un panorama cylindrique *développé*, préalablement exécuté, à sa demande, par un artiste de beaucoup de talent, M. Gaillot, alors attaché à l'École d'application de Metz. Nous ne sachions pas que cette œuvre de patience si réussie ait été répétée.

---

(1) L'invention des panoramas, généralement attribuée à l'Anglais Baker et qui remonte au siècle dernier, avait conduit à l'exécution préparatoire de vues rayonnantes ou en rabattement circulaire, dont on trouvera des spécimens dans l'Ouvrage de M. Germain Bapst, cité plus haut : *Essai sur l'Histoire des Panoramas et des Dioramas*. Mais cette manière de figurer des tours d'horizon, pris particulièrement de points élevés, avait été ima-

Le Panoragraphe de Puissant avait pour objet de permettre de dessiner directement et sans peine, par parties successives, les vues anamorphosées, et la planchette du Dr Chevallier atteignait le même but photographiquement.

L'un et l'autre de ces instruments étaient basés sur le principe de l'ancienne chambre obscure de campagne, composée d'un miroir plan ou d'un prisme à réflexion totale et d'un

---

ginée indépendamment par d'autres personnes et dans un autre but. Nous donnons, comme exemple, une vue panoramique rayonnante des environs

Fig. 3.

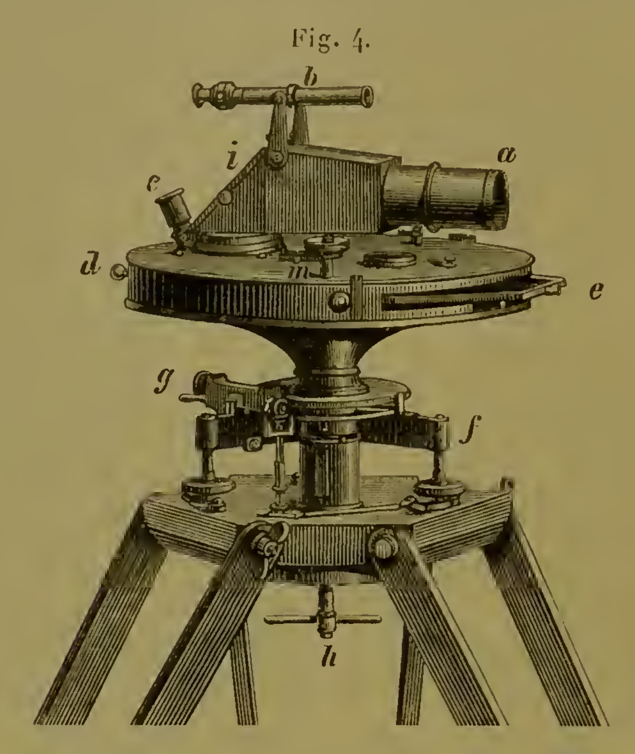


du mont Blanc, dessinée du sommet du Buet par l'illustre naturaliste de Saussure (*fig.* 3).

objectif qui donnait l'image partielle du paysage sur une tablette horizontale.

Dans l'appareil Chevallier (*fig.* 4), cette image était limitée à un secteur très étroit par un écran à lames mobiles autour du centre de la planchette, que l'on pouvait, par conséquent, rapprocher ou écarter. En faisant tourner tout le système

Fig. 4.



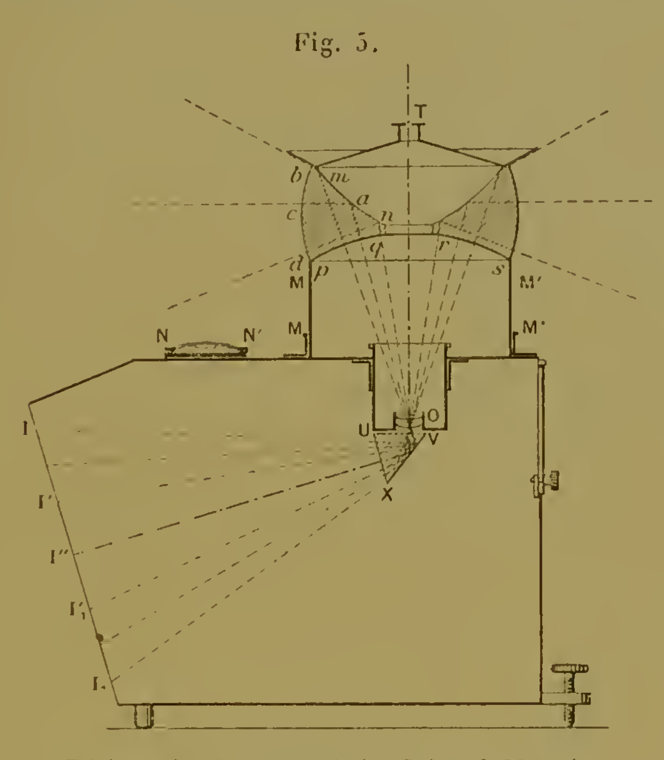
Planchette photographique du Dr Chevallier.

optique autour de l'axe de l'objectif qui passait par le centre, on parvenait à découvrir et à enregistrer successivement les différentes parties du paysage sur la tablette fixe.

Un appareil analogue, mais plus savamment combiné, le *Périgraphe instantané* du colonel Mangin (*fig.* 5) est formé d'un miroir torique à réflexion totale, d'un objectif placé sur le même axe vertical et à une distance convenable, enfin, d'un prisme également à réflexion totale disposé immédiatement au-dessous de l'objectif et servant à la fois à retourner l'image et à la projeter latéralement sur la plaque sensible disposée parallèlement à la face de sortie du prisme et au foyer dévié de l'objectif.

La forme du méridien du tore, qui est l'organe vraiment original de ce système, a été très habilement déterminée par l'auteur, et les images obtenues d'un seul coup sont d'une bien plus grande netteté que celles de l'appareil Chevallier, dont les éléments successifs empiètent nécessairement les uns

Fig. 5.



Périgraphe instantané du Colonel Mangin.

LÉGENDE :

man, profil de la surface torique fonctionnant par réflexion totale; — *bcd*, profil de la surface d'entrée des rayons lumineux; — *pqrs*, surface sphérique de sortie des rayons réfléchis ayant pour centre le centre optique O de l'objectif photographique; — UVX, prisme à réflexion totale, isoscèle en U, placé sous l'objectif O; — II' I_1 I'_1, écran sur lequel se forme l'image annulaire panoramique dont la largeur est II' ou $I_1 I'_1$; — T, petit trou ménagé au sommet du couvercle de l'appareil pour faire apparaître le centre I'' de l'image panoramique sous forme d'un point blanc; — MM M'M', manchon cylindrique fixé à la base de la surface sphérique *bcd* du miroir torique et supportant ce miroir sans intercepter aucun rayon lumineux utile; — NN', niveau à bulle d'air pour assurer la verticalité de l'axe de révolution du miroir.

sur les autres. Nous donnons, d'ailleurs, des spécimens des perspectives rayonnantes des deux systèmes, qui permettront de les comparer (*Pl. V*).

La propriété caractéristique de ces perspectives est évidemment de donner, *sans lecture et sans aucune opération gra-*

phique, les angles compris entre les plans verticaux des différents points du panorama.

L'enregistrement des projections des rayons visuels, que l'on effectuait une à une et en petit nombre sur l'antique planchette circulaire, à laquelle on est ainsi ramené, se trouve, en effet, réalisé pour tous les points visibles de la station, et il n'est pas nécessaire d'insister sur ce que ce résultat a de séduisant au premier abord.

Pour le nivellement, on comprend aussi facilement que les points situés aux mêmes hauteurs angulaires se trouvent sur des cercles concentriques, et que la ligne d'horizon est elle-même un de ces cercles dont le centre commun est naturellement celui de la perspective.

Mais, malgré cette simplicité apparente de la disposition des perspectives rayonnantes et de l'emploi que l'on en pouvait faire, malgré la faveur avec laquelle plusieurs personnes autorisées avaient accueilli la planchette photographique (1), enfin, malgré le mérite réel de la solution élégante du même problème donnée par le colonel Mangin, on n'a pas tardé à reconnaître que les images ainsi obtenues étaient de simples curiosités dont on ne pouvait tirer aucun parti, les anamorphoses qu'elles présentent devenant même déconcertantes dans la plupart des cas. Aussi ne faudrait-il pas songer à les comparer aux vues régulièrement tracées sur des tableaux plans pour l'étude des formes du terrain et le tracé des courbes de niveau (2).

A peine est-il nécessaire d'ajouter que des vues circulaires, en forme d'anneau ou de cocarde, seraient peu propres à servir d'illustrations, et qu'elles désorienteraient à chaque instant le spectateur, à moins de s'astreindre, comme l'avait fait

---

(1) Viollet-le-Duc, d'Abbadie, plusieurs officiers du Génie, s'étaient faits les parrains de la planchette photographique du Dr Chevallier et lui avaient donné une notoriété passagère.

(2) Certains officiers, attachés à divers titres au Service géographique de l'Armée, n'en ont pas moins prôné le périgraphe instantané et sont allés jusqu'à déclarer qu'il résolvait le problème de la Phototopographie. Au fond, ils ne le pensaient pas, et cela leur servait simplement à reculer encore l'emploi d'une méthode qu'ils avaient condamnée sans avoir pris la peine de l'étudier et surtout de l'expérimenter.

Bardin, à placer dans la partie centrale libre de chaque image, c'est-à-dire pour chaque station, le fragment de carte correspondant. (Voy. *Pl. IV*.)

En un mot, les dernières tentatives dont nous venons de rendre compte, si ingénieuses qu'elles soient, doivent être considérées simplement comme les solutions de problèmes d'Optique plus ou moins intéressants, mais conduisant à des résultats inadmissibles dans la pratique.

Indépendamment des critiques précédentes, nous ferons encore remarquer que, au point de vue géométrique, les images concentrées, condensées dans un anneau de peu d'étendue, sont telles que les lignes de visée et de construction y sont très courtes.

Tandis qu'avec les vues ordinaires simplement rabattues autour de leur ligne d'horizon, comme on le verra bientôt, les constructions s'opèrent habituellement à l'intérieur, c'est-à-dire entre le point de vue et l'image, il faudrait en général, avec les vues rayonnantes, prolonger les lignes de visée à l'extérieur, et, par conséquent, augmenter les erreurs graphiques.

X. — *Propriétés et avantages des images sur tableau plan.*

Conditions essentielles imposées aux objectifs. — Les appareils photographiques ordinaires, beaucoup plus simples que tous ceux dont il vient d'être question, ont le très grand avantage de produire des vues en tout semblables à celles qu'ont exécutées de tout temps les peintres et les dessinateurs. Le centre optique de l'objectif, qui est le point de vue de la perspective, étant supposé projeté perpendiculairement sur le plan du tableau et sa distance à ce tableau (distance focale principale de l'objectif) invariable et exactement déterminée, si celui-ci est bien vertical, et que l'appareil soit muni des organes d'observation et de rectification habituels des instruments de Topographie pour le régler et pour prendre quelques mesures destinées à rattacher les vues entre elles,

rien n'est plus facile que de se servir de celles-ci pour construire des plans par la méthode des intersections. Il y a toutefois une condition essentielle à imposer aux objectifs, c'est qu'ils soient construits de façon à ne produire aucune déformation sensible dans toute l'étendue utilisée de l'image photographique.

Cette condition remplie, il est aisé de voir que l'on se trouve en présence de perspectives, dont les propriétés sont bien connues, et l'on peut s'attendre, par conséquent, en les employant, à obtenir des résultats plus exacts et plus complets que ceux que l'on pouvait relever sur des dessins exécutés à vue avec quelques angles mesurés et inscrits entre les points les plus remarquables (*fig.* 1), dont Beautemps-Beaupré avait cependant su tirer un si grand parti.

Les vues de Beautemps-Beaupré se trouvaient, en effet, dans les mêmes conditions que les panoramas cylindriques dont nous venons de nous occuper; il fallait *lire et rapporter* les angles, et les vues servaient seulement à rectifier, à prévenir les erreurs de lecture, les positions relatives des points observés y étant conservées et guidant l'opérateur.

Premiers progrès de la méthode dus a l'emploi de la chambre claire. — Un progrès sensible, décisif, pourrions-nous dire, a donc été fait quand, nous avisant, en 1849, de recourir à la chambre claire, nous avons substitué, pour les opérations faites à terre, aux dessins à vue toujours plus ou moins incorrects, des images rigoureusement géométriques tracées sur un tableau plan vertical, et dans une position parfaitement déterminée par rapport au point de vue, rappelant la glace ou la gaze des premiers peintres qui ont étudié la perspective.

Nous supprimions, en effet, ainsi les lectures d'angles, par conséquent les erreurs qui peuvent en résulter, et jusqu'à la préoccupation de ces erreurs.

Ajournement temporaire de l'emploi de la Photographie. — Nous avions bien aussitôt pensé à la Photographie; mais, d'une part, les aberrations de l'objectif limitaient alors le champ de l'épreuve à 30° au plus, — et c'est ce qui avait fait

imaginer les appareils cylindriques, dont personne ne s'est d'ailleurs servi couramment pour faire de la Topographie, — et, d'un autre côté, les manipulations étaient encore si délicates que nous avions jugé qu'il valait mieux attendre et commencer par étudier la méthode des perspectives à l'aide d'un instrument à la fois simple et précis, qui donne sans peine, sur un tableau plan, des images d'une amplitude de plus de 60° absolument sans déformations. La position de ce tableau à une distance de l'œil qui est celle de la vue distincte, — de $0^m,25$ à $0^m,30$ par conséquent, — procurait d'ailleurs des *lignes de visée* d'une longueur comparable à celle de l'alidade de la planchette. Ces conditions réunies permettaient donc d'appliquer aux reconnaissances faites à terre, et sûrement encore avec plus de succès, l'ingénieuse méthode imaginée par Beautemps-Beaupré pour la reconnaissance des côtes.

XI. — *Principes généraux de la perspective.*

Définition. — Avant de donner la description de la chambre claire, et d'indiquer la manière d'utiliser les vues que cet instrument permet de dessiner correctement et assez rapidement, il convient de rappeler quelques définitions et les principes généraux de ce que l'on est convenu d'appeler le *trait de perspective,* dont nous aurons l'occasion de faire usage aussi bien avec les vues photographiées qu'avec les vues dessinées (1).

Il doit être entendu, tout d'abord, que nous ne recourrons qu'à la perspective conique obtenue sur un tableau plan, le plus ordinairement vertical.

La figure suivante (*fig.* 6) permet de suivre facilement les autres définitions quand on sait que l'on appelle *perspective conique* ou *centrale* (2) le dessin laissé sur une surface inter-

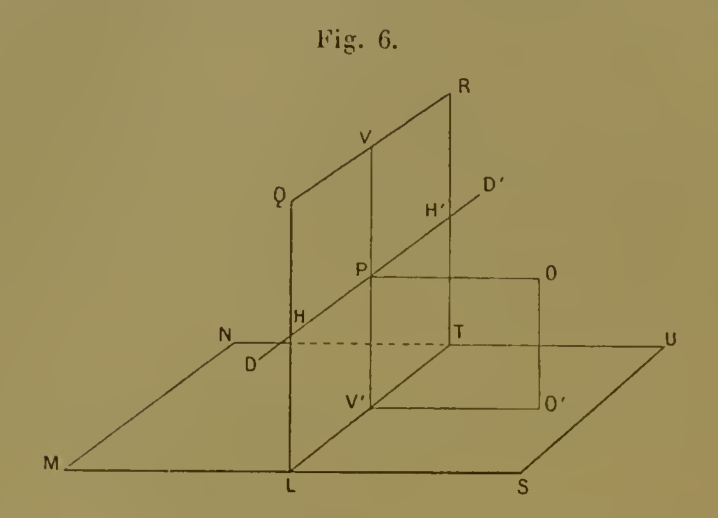
(1) Le lecteur familiarisé avec la pratique de la perspective peut se contenter de parcourir rapidement les deux ou trois paragraphes suivants destinés surtout à guider les opérateurs plus novices.

(2) Les géomètres considèrent et les ingénieurs emploient, pour repré-

posée et provisoirement supposée transparente par la rencontre de tous les rayons visuels allant du point de vue, c'est-à-dire de l'œil de l'observateur, aux divers points de l'objet ou des objets perçus à travers cette surface que l'on nomme le *tableau*.

QRLT est ce tableau que nous supposons plan et vertical [1]; O est le *point de vue*, OP la perpendiculaire abaissée

Fig. 6.



de ce point sur le tableau dont la longueur est la *distance du point de vue* au tableau ; le plan horizontal qui passe par le point de vue s'appelle le *plan d'horizon* et sa trace HH' sur le plan du tableau est la *ligne d'horizon;* le plan vertical perpendiculaire au plan du tableau qui passe par le point de vue est le *plan principal,* sa trace sur le plan du tableau VV' la *ligne principale,* et le point P qui est à l'intersection de la ligne d'horizon et de la ligne principale est le *point principal* de la perspective et s'appelle aussi le *point de fuite principal :* on verra tout à l'heure pourquoi.

La longueur OO' de la perpendiculaire abaissée du point de

---

senter certains objets de formes régulières, différents systèmes de projections dont ils désignent les résultats sous le nom de *perspectives*. La perspective conique, dont nous rappelons les définitions et les principes, est la seule dont les artistes fassent usage et la seule aussi dont nous nous occuperons.

[1] Exceptionnellement, nous pourrons avoir à recourir à des tableaux inclinés à l'horizon ou même horizontaux.

vue sur un plan horizontal MNSU sur lequel on suppose qu'est placé debout l'observateur est la *hauteur du point de vue* au-dessus de la *station* O'; enfin la trace LT du plan du tableau sur ce plan horizontal inférieur s'appelle la *ligne de terre.*

Signalons encore les deux points D et D' marqués sur la ligne d'horizon, de part et d'autre du point principal et tels que PD et PD' sont égaux entre eux et à la distance OP du point de vue au tableau. On les désigne sous le nom de *points de distance* et les peintres en font un fréquent usage.

Bien que les ombres produites par la lumière solaire donnent plus d'expression aux images et qu'on les trouve le plus souvent sur les épreuves photographiques dont nous aurons surtout à nous occuper, sans renoncer à les utiliser accidentellement, nous ne considérerons, quant à présent, sur les vues dont nous voulons nous servir, que les formes linéaires apparentes des objets eux-mêmes qui s'y trouvent représentés.

Quand on n'emploie pas les perspectographes usuels, comme la chambre claire ou l'objectif photographique [1], et qu'au lieu d'être en présence d'un monument existant ou d'un objet de formes bien définies, une machine par exemple, on se propose de tracer la perspective de ce monument ou de cette machine qui peuvent n'être qu'un projet, d'après leurs projections horizontales et verticales dessinées à une échelle déterminée par un architecte ou un ingénieur, le problème à résoudre est celui qui fait l'objet de la *perspective linéaire*.

Les deux projections sont naturellement indispensables et l'on verra comment il convient de les employer, mais on commence toujours par la mise en perspective des figures de la projection horizontale, que l'on désigne sous le nom de *géométral* et au devant de laquelle on place le tableau dont

---

[1] Nous verrons, au Chapitre IV, que l'on a imaginé aussi des perspectographes mécaniques destinés à résoudre immédiatement le problème de la perspective et même le problème inverse, celui dont nous avons précisément à nous occuper.

le plan coupe celui du géométral suivant une ligne droite appelée *ligne de terre* ([1]).

Propositions fondamentales. — Le premier problème qui se présente est donc de trouver sur le tableau la perspective d'un point quelconque du géométral. Pour le résoudre et pour traiter les autres questions de la perspective linéaire, on s'appuie sur les propositions suivantes faciles à établir en se fondant sur les notions les plus simples de la Géométrie élémentaire :

1° La perspective d'une droite quelconque est elle-même une droite; si la droite considérée rencontre le tableau, sa perspective passe par le point de rencontre; si elle est parallèle au tableau, sa perspective lui est parallèle; toute parallèle au tableau est dite une *droite de front*, et le plan vertical qui la contient est un *plan de front*.

Le plan qui passe par le point de vue et par la droite à mettre en perspective est un *plan perspectif;*

2° Toutes les droites verticales ont pour perspectives des verticales, c'est-à-dire des perpendiculaires à la ligne d'horizon;

3° Les perspectives de plusieurs droites parallèles entre elles, mais inclinées sur le plan du tableau, concourent en un même point, qui est celui où la parallèle passant par le point de vue rencontre ce tableau. Ce point de concours se nomme le *point de fuite* des parallèles ;

4° Si les droites considérées sont horizontales, leur point de fuite est sur la ligne d'horizon, qui devient ainsi un lieu géométrique; enfin, si ces horizontales sont perpendiculaires au plan du tableau, leur point de fuite est le *point principal* défini plus haut et tous les autres points de fuite sont dits *accidentels*.

La plupart de ces vérités ou, comme on dit en Géométrie, de ces propositions, sont bien connues de tous ceux qui ont cherché à se rendre compte des aspects que présentent de longues allées d'arbres, les bords d'une route ou d'un canal

---

([1]) Nous expliquerons plus loin le sens qu'il faut attacher à cette expression.

rectilignes, les rues droites d'une ville ou d'un village, les grands monuments, aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les règles qui en découlent sont appliquées journellement par les artistes dans la composition de leurs tableaux, mais il n'est pas moins certain que la Photographie a contribué à les vulgariser en fixant, en toutes circonstances, avec une grande fidélité, ces effets de la perspective.

Sans qu'il soit nécessaire d'en donner ici des exemples, on sait que ce qui caractérise en particulier les vues des monuments et des édifices, œuvres de l'homme, c'est l'existence de nombreuses lignes droites, pour la plupart verticales ou horizontales (restées telles ou devenues *fuyantes*), et c'est pourquoi il importe tant de conserver les appareils ordinaires qui fournissent des images conformes aux règles de la perspective. On va voir, en effet, tout à l'heure, avec quelle facilité s'effectue géométriquement la restitution d'un édifice dont on peut n'avoir qu'une seule perspective conique sur tableau plan.

XII. — *Mise en perspective d'un édifice dont on a le plan et les élévations.*

Nous rappellerons d'abord les principes de la mise en perspective d'un édifice, qui serviront naturellement à résoudre le problème inverse.

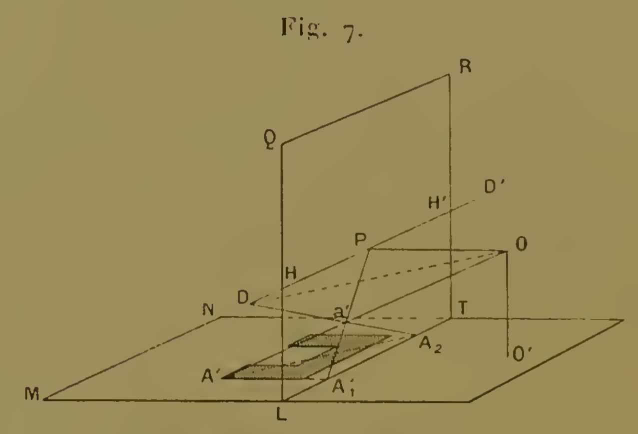
PERSPECTIVE D'UN POINT DU GÉOMÉTRAL. — Soient A' (*fig.* 7) le point du géométral à mettre en perspective, O le point de vue, HH' la ligne d'horizon, P le point principal de fuite et, par conséquent, OP la distance du point de vue au tableau, enfin LT la ligne de terre.

Abaissons $A'A'_1$ perpendiculaire à la ligne de terre; le point cherché sera sur A'_1P perspective de $A'A'_1$; portons sur la ligne d'horizon, de part et d'autre du point principal, les deux longueurs PD et PD' égales à OP; D et D' seront les points de distance et, chacun des triangles OPD et OPD' étant isoscèle, on voit qu'ils sont les points de fuite des horizontales inclinées à 45° sur le plan du tableau. (Il est bon de savoir aussi qu'aux

points de fuite *accidentels* correspondent également des points de distance *accidentels* dont on peut avoir l'occasion de faire usage.)

Si l'on porte maintenant de A'_1 en A'_2 sur la ligne de terre une longueur égale à la distance $A'A'_1$ du point donné à cette

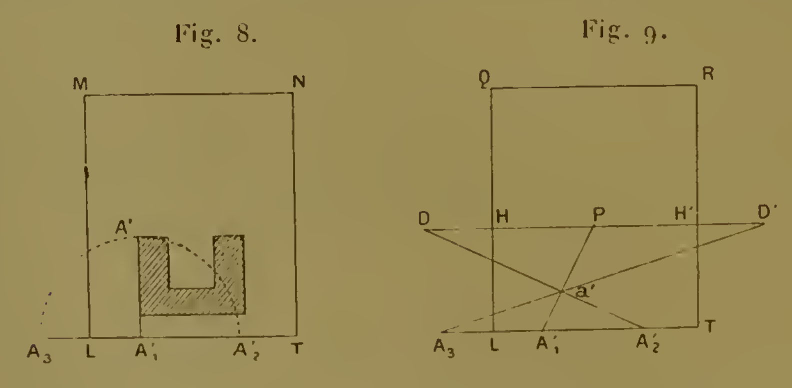
Fig. 7.



ligne de terre appelée *l'éloignement* du point A', le triangle rectangle $A'A'_1A'_2$ sera également isoscèle et son hypoténuse sera parallèle à OD; D sera donc le point de fuite par lequel devra passer la perspective de $A'A'_2$, qui est par conséquent A'_2D, et le point d'intersection a' des deux perspectives de $A'A'_1$ et de $A'A'_2$ sera la perspective cherchée du point A'.

Dans la pratique, on place à côté l'un de l'autre le géométral MNLT (*fig.* 8) et le tableau QRLT (*fig.* 9) qu'il suffit

Fig. 8. Fig. 9.



d'examiner un peu attentivement pour voir comment s'effectue la construction ([1]).

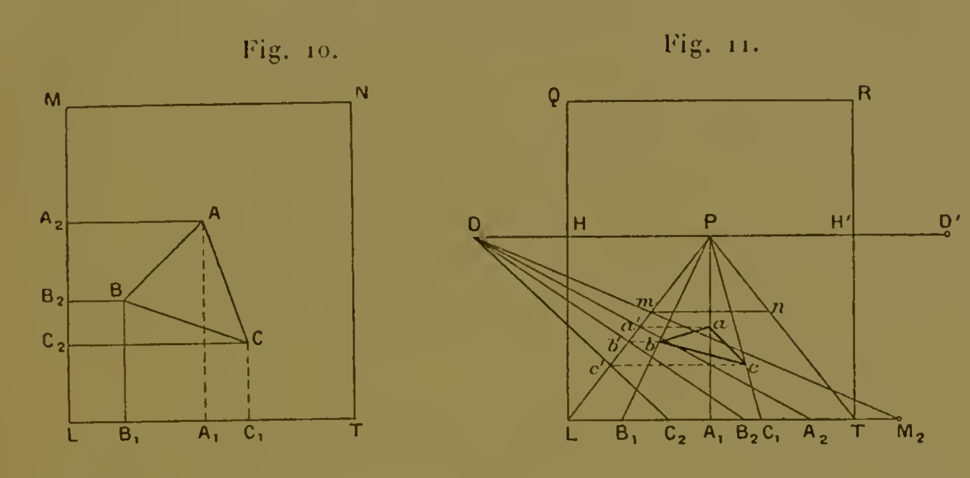
([1]) On a indiqué sur les deux figures que $A'A'_1$ pouvait être porté sur la ligne de terre, soit à droite, soit à gauche de A'_1, en changeant de point

On peut systématiser la mise en perspective d'un plus ou moins grand nombre de points d'une figure dessinée sur le géométral, en considérant les bords LT et LM de ce géométral comme deux axes coordonnés auxquels ils sont rapportés.

Prenons le cas le plus simple, celui d'un triangle ABC (*fig.* 10 et 11).

Les perspectives des deux axes sur le tableau étant LT et LP, on portera successivement, à partir de L, sur la ligne LT du

Fig. 10. Fig. 11.



tableau, les distances LB_1, LA_1, LC_1, et ensuite les distances LC_2, LB_2, LA_2; on joindra B_1, A_1 et C_1 au point principal P, puis C_2, B_2 et A_2 au point de distance D; les points d'intersection a', b', c' des lignes DA_2, DB_2 et DC_2 avec LP seront les perspectives des points A_2, B_2 et C_2, et en les ramenant par des parallèles à LT sur A_1P, B_1P et C_1P, on a les perspectives a, b, c de A, B, C.

Il est à remarquer que les abscisses portées sur LT, appelée *échelle des largeurs,* conservent naturellement leurs vraies grandeurs, tandis que, sur la fuyante LP, appelée *échelle des éloignements,* les ordonnées sont altérées et d'autant plus réduites que les points considérés sont plus éloignés.

Les dimensions du géométral étant nécessairement limitées, si l'on porte la plus grande distance LM en LM_2 sur la ligne de terre LT du tableau et que l'on joigne le point M_2 au point

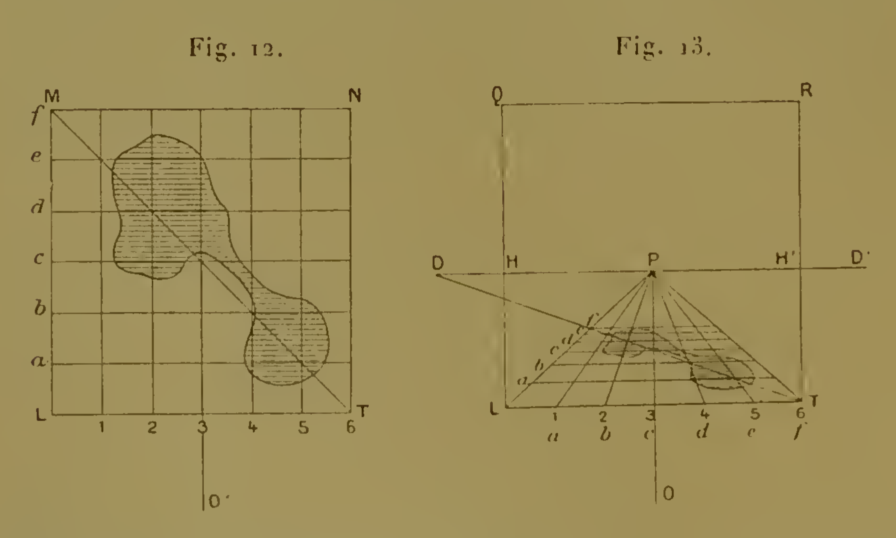
---

de distance, et l'on voit sur la seconde figure que l'on aurait ainsi, au besoin, un moyen de vérification.

de distance D, *m* sera sur LP la perspective du point M du géométral et la parallèle *mn* arrêtée à TP perspective de TN sera elle-même la perspective de MN. Le trapèze L*mn*T contient donc les perspectives des figures dessinées sur le géométral, et tout ce qui peut être tracé en dehors sur le tableau se rapporte à des points non compris dans ce géométral.

Perspective d'une figure quelconque tracée sur le géométral. Craticulation. — Pour réduire ou amplifier le dessin d'une étude, les peintres emploient souvent des séries de droites parallèles équidistantes tracées dans deux sens rectangulaires et formant un réseau de carrés dont les côtés du modèle et ceux de la copie sont dans le rapport voulu. On conçoit immédiatement comment les lignes homologues servent de guides dans l'exécution du dessin réduit ou amplifié, et cette opération a reçu le nom de *craticulation* (même étymologie que *grille*).

En perspective, un semblable quadrillé (*treillis perspectif* des anciens géomètres) étant tracé sur le géométral (*fig.* 12 et 13) dont nous supposerons les côtés égaux, en joignant



tous les points de division de la ligne de terre LT du tableau au point principal P et le dernier, T, au point de distance D, ce qui donne les perspectives des perpendiculaires à LT du géométral et celle de la diagonale TM, enfin en menant par

les points d'intersection des parallèles à la ligne de terre, on obtient une série de trapèzes dont les côtés correspondent à ceux du géométral. Cette craticulation terminée, les figures tracées sur le géométral se transforment par le même procédé que celui de la réduction ou de l'amplification dont il vient d'être question. C'est ce que l'on voit exécuté sur les *fig.* 12 et 13 dont la première représente le plan des bords d'un lac et la seconde la perspective de ces bords.

Nous avons supposé que le géométral était un carré, ce qui permettait d'obtenir d'un seul coup, par la perspective TD de la diagonale TM, un point de chacune des parallèles à la ligne de terre, mais il est aisé de concevoir que la même construction s'étendrait facilement à un rectangle.

Nous n'entrerons dans aucun détail sur la mise en perspective des figures géométriques régulières, qui ne présente d'ailleurs aucune difficulté; nous ne voulons indiquer ici que les principes généraux destinés à nous servir de guides dans les applications qui nous intéressent. Ainsi nous savons que l'on rencontre sur les photographies de paysages des perspectives de lignes situées dans un même plan horizontal, c'est-à-dire au même niveau, et l'exemple que nous venons de donner des bords d'un lac en plan et en perspective a servi à montrer comment on peut passer de l'un à l'autre.

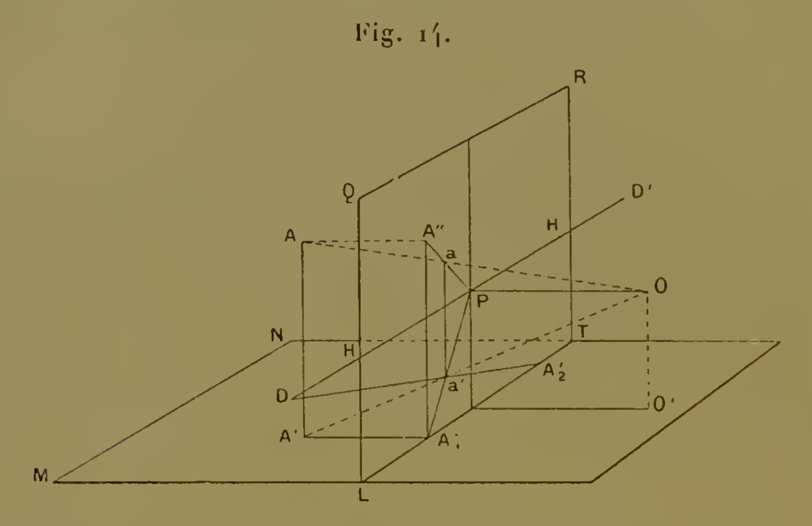
La comparaison un peu attentive des deux figures dont il s'agit permet de prévoir encore que les transformations produites par la perspective seront d'autant plus grandes que la ligne d'horizon sera plus rapprochée de la ligne de terre ou, pour mieux dire, que le point de vue sera moins élevé au-dessus du niveau du lac, car, il convient de le faire remarquer dès à présent, la hauteur du point de vue au-dessus du géométral n'est pas nécessairement, comme on pourrait être disposé à le croire, celle de la taille de l'observateur, et les règles que nous venons d'établir s'appliquent quelle que soit la distance verticale du point de vue au géométral.

Perspective d'un point quelconque situé au-dessus ou au-dessous du géométral. — Nous procéderons, comme nous l'avons déjà fait quand il s'agissait d'un point du géomé-

tral, en cherchant cette fois à construire la perspective d'un point de l'espace dont on connaît la projection et la hauteur au-dessus de ce plan.

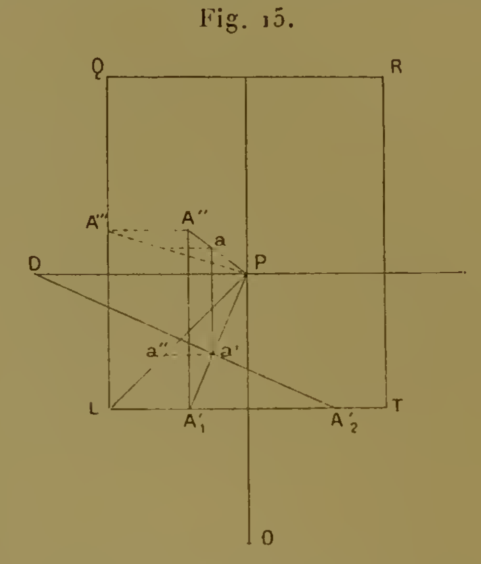
En reprenant la *fig.* 7, complétons-la en indiquant la hauteur AA′ du point A considéré (*fig.* 14). La perspective a' de la

Fig. 14.



projection A′ s'obtiendra comme précédemment et si nous projetons AA′ sur le tableau par deux perpendiculaires $A'A'_1$ et A A″, la première a, comme nous le savons, pour perspective A'_1 P et la seconde aura évidemment pour perspective A″P.

Fig. 15.



Mais, d'un autre côté, $A''A'_1$ est la hauteur du point A ramenée en vraie grandeur sur le tableau ; enfin, la perspective de

AA′ passe par le point a' perspective de A′ et est une verticale dont la rencontre avec A″P donne la perspective a du point considéré. aa' est donc aussi la perspective de AA′; d'où la construction facile à suivre sur la *fig.* 15.

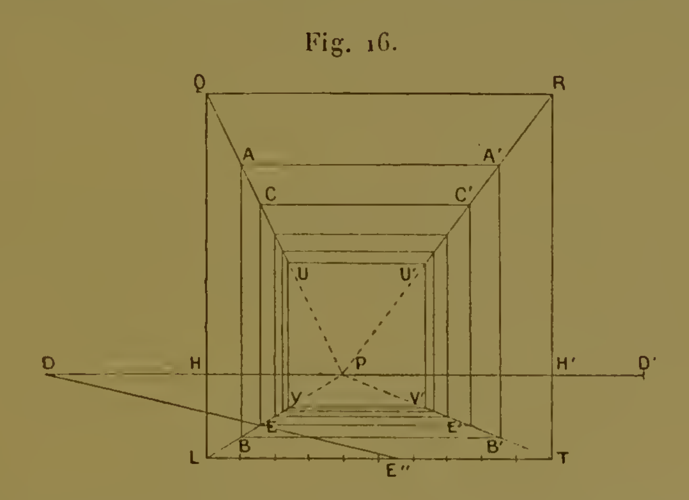
XIII. — *Problème inverse de la perspective, dans le cas des édifices.*

La construction inverse serait tout aussi facile à exécuter si, étant donnée une vue dessinée ou photographiée sur laquelle on considérerait une verticale aa' arrêtée au *plan de terre* en a', on demandait la vraie grandeur de la droite AA′ dont elle est la perspective et la projection A′ du point A sur le géométral.

Nous allons appliquer cette construction inverse, si simple, au cas de la perspective d'intérieurs comme les grandes galeries, les nefs d'églises, etc., dont la Photographie fournit de si nombreux exemples, et l'on verra que les restitutions cherchées en découlent immédiatement.

Réduisons ces vues d'intérieur au schéma de la *fig.* 16. LTQR étant le tableau dont les quatre côtés encadrent la

Fig. 16.



galerie en hauteur et en largeur, les quatre lignes fuyantes LP, TP, QP, RP, qui sont autant d'échelles d'éloignement, représentent les limites du plancher ou du dallage de la galerie

et celles du plafond (celui-ci pouvant d'ailleurs être en forme de voûte).

Il suffira de mesurer la largeur LT de la galerie pour en déduire les autres dimensions et tous les détails de l'architecture, et, par conséquent, pour dessiner le plan (ou les plans du plancher et du plafond) et les élévations à une échelle déterminée.

Supposons que cette longueur soit de 10^m, et divisons LT en dix parties égales que l'on subdiviserait au besoin à leur tour ; on pourra aussitôt mesurer la hauteur du pilastre représenté par LQ sur le tableau lui-même, et les éloignements successifs des pilastres suivants AB, CE, ..., UV, celui de CE, par exemple, en joignant le point de distance D au point E de l'échelle des éloignements LP et en prolongeant DE jusqu'en E″ ; LE″ sera, en vraie grandeur, l'éloignement cherché. On trouverait ensuite la hauteur d'un point quelconque de CE, en joignant ce point à P, et en prolongeant la ligne résultante jusqu'à sa rencontre avec LQ, et l'on opérerait de même pour déterminer les trois coordonnées d'un point remarquable quelconque de la galerie et des objets qu'elle pourrait contenir.

Il ne nous semble pas nécessaire d'entrer dans d'autres détails à ce sujet, l'expérience nous ayant appris avec quelle rapidité un dessinateur exercé parvient à exécuter une restitution tout à fait satisfaisante de l'architecture, dès qu'il s'est procuré un nombre de repères convenable.

Ligne de terre. — Nous profiterons de l'occasion qui se présente pour bien préciser le sens de cette expression de *ligne de terre* en perspective. Dans le cas actuel, c'est-à-dire quand l'opérateur, dessinateur ou photographe, est installé sur un sol parfaitement horizontal, dallage ou plancher, le bord inférieur du tableau peut reposer effectivement sur le sol, et c'est de l'hypothèse qu'il en est ainsi que viennent les noms de *plan de terre*, dont nous nous sommes servi, très employé autrefois (*Grundriss* des Allemands) et de *ligne de terre* qui l'est toujours. Dans le cas d'une vue d'ensemble d'un monument prise de l'extérieur et plus généralement

encore d'une vue de paysage, la station de l'opérateur n'est pas toujours située sur un sol horizontal ou plutôt cela n'arrive que rarement, mais il n'est pas moins permis de concevoir un plan horizontal mené par cette station et sur lequel on projette le monument ou les accidents du terrain. La ligne de terre dont on ne continue pas moins à se servir pour les constructions géométriques devient alors tout à fait conventionnelle, car, en réalité, le bord inférieur du tableau peut s'élever au-dessus, ou descendre au-dessous d'elle. Il suffit de jeter les yeux sur des photographies prises en pays de montagnes ou simplement dans une ville dont le terrain est accidenté, pour se rendre compte de l'importance qu'il y a à ne pas confondre le bord inférieur du tableau avec la ligne de terre théorique.

XIV. — *Restitution des édifices en général* (*plans et élévations*) *d'après leurs perspectives.*

Pour effectuer ces restitutions, il n'est pas nécessaire, comme on pourrait être tenté de le croire, d'après ce qui vient d'être dit pour celles des plans et des élévations des galeries intérieures, d'avoir résolu les problèmes si variés et souvent si délicats de la mise en perspective des édifices d'architecture (1), pour employer des méthodes de construction inverses.

---

(1) La perspective a fait naturellement l'objet des méditations des artistes de tous les temps et particulièrement des architectes. On en trouve la preuve jusque dans les dessins des plans d'édifices égyptiens mêlés de perspectives, dont nous donnerons un spécimen dans l'une des notes placées à la fin de ce Volume.

Le nom de *Scénographie* déjà cité, donné aux dessins de perspective, viendrait, d'après les érudits du XVIe siècle, de ce que les architectes grecs étaient très habiles dans l'art de produire les illusions de la scène, au théâtre, en un mot, dans l'art de la perspective théâtrale.

Il est certain, d'ailleurs, que si les peintres et les sculpteurs en bas-reliefs avaient besoin de connaître les lois de la perspective et que plusieurs d'entre eux, Pietro della Francesca, Léonard de Vinci, Albert Dürer, Cousin, ont contribué à les découvrir, le plus grand nombre des traditions et des Ouvrages sur la perspective est dû à des architectes; ainsi l'on peut citer, dès la fin du XIVe et le commencement du XVe siècle, Brunelleschi et Ghi-

Les exemples que nous allons donner suffiront à démontrer que rien n'est plus facile, en général, que de restituer les

---

berti, puis Vignole commenté par Egnatio Danti ([a]), Sebastiano Serlio (peintre de perspective, architecte et graveur), Palladio, notre Androuet du Cerceau, contemporain de Frederigo Commandino, de Guido Ubaldo del Monte et du célèbre Desargues, le Monge du XVIe siècle, qui ont été les premiers à établir les règles géométriques de la perspective, c'est-à-dire le *trait* dont nous nous servons après l'avoir perfectionné, et beaucoup d'autres encore en France, en Allemagne, en Angleterre, en Italie, dont il serait à peu près impossible de donner une liste complète. Nous signalerons seulement à part, comme l'œuvre de perspective architecturale la plus considérable que nous connaissions, le magnifique Ouvrage du P. Andreas Puteus (Pozzo), intitulé : *Perspectiva pictorum et architectorum Andreæ Putei e Societate Jesu, in quâ proponitur modus excellentissimus delineandi opticè omnia quæ pertinent ad architecturam.* 2 vol. grand in-4° ; Romæ, MDCCXXIII et MDCCLVIII.

Depuis cette époque du milieu du XVIIIe siècle, il a été publié un grand nombre de Traités de perspective, mais nous n'avons voulu rappeler ici que les noms des artistes célèbres et ceux des principaux géomètres qui ont créé la théorie de la perspective, et les perfectionnements plus récents, quels que soient leur importance et leur mérite, ne sont que le développement des principes généraux dont nous avons indiqué les plus essentiels.

On sait cependant que Monge et son école avaient fait entrer cet art, comme celui des ombres, comme tous ceux de la Stéréotomie, dans la méthode générale de la Géométrie descriptive où l'on emploie simultanément deux plans de projection. (Voyez, à ce sujet, *la Géométrie descriptive* par G. MONGE, *augmentée d'une théorie des Ombres et de la perspective extraite des papiers de l'auteur,* par M. BRISSON, ancien élève de l'École Polytechnique, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées. 4e édition ; 1820 (Paris, Ve Courcier).

Mais la tradition du trait de perspective n'en a pas moins persévéré chez les artistes, et des auteurs, qui étaient en même temps d'excellents professeurs, l'ont entretenue et en ont tiré le plus grand parti. On peut citer, en France, les Ouvrages de Vallée, de Thibault, de J. Adhémar et de Jules de la Gournerie. Ce dernier a donné, en particulier, l'explication et la justification des dérogations aux règles de la perspective géométrique que se sont permises les plus grands peintres et les sculpteurs en bas-reliefs et en ronde-bosse ; il a également étudié, avec une grande sagacité, la question si délicate des décorations théâtrales et indiqué une méthode exacte pour la construction des perspectives sur châssis obliques.

([a]) L'admiration du commentateur pour l'auteur des *deux règles de la perspective*, M Joanno Barozzi di Vignola, se traduit sous toutes les formes ; ainsi il cite les peintures de cet excellentissime architecte et perspecteur « *come sono le quattro colonne Corinte ne' cantoni d'una sala, talemente fatte che ingagnano la vista de chiunche le mira* ». Et il termine sa biographie par cet éloge : « *Onde restera sempre nella memoria degl'huomini il nome suo, havendo anco lasciato scritto à posteri le due opere non mai a bastanza laudate, quella dell' architettura nella quale fu mai da veruno de' suoi tempi avanzato, e quella della prospettiva, con laquale ha traspassato di gran lunga tutti gli altri, che alla memoria de nostri tempi siano pervenuti.* »

plans et les élévations des parties apparentes d'un ensemble d'édifices ou d'un édifice isolé, quelle que soit leur importance, avec une seule vue sur laquelle se trouvent tracée la ligne d'horizon et marqué le point principal, à la condition que l'on connaisse ou que l'on puisse déterminer la distance du point de vue au tableau.

Restitution du plan de la cour du quartier de Panthemont, d'après une vue dessinée a la chambre claire. — Cette vue a été prise, cela est manifeste sur la figure, à un étage d'une maison voisine qui est sensiblement au même niveau que celui de l'aile de la caserne située à gauche (*fig.* 17).

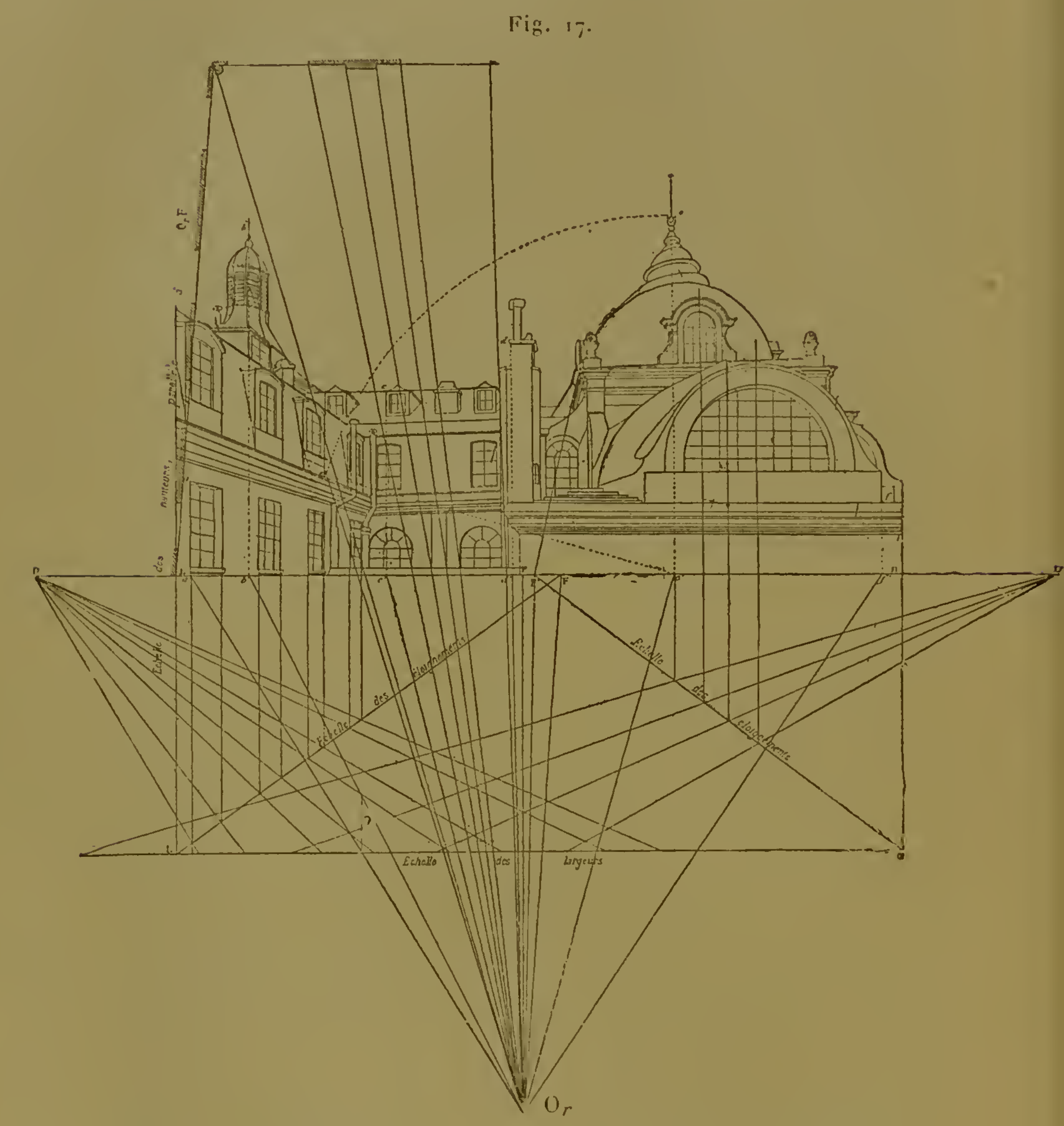
La ligne d'horizon et le point principal étant tracés, et la distance du point de vue au tableau déterminée, comme on l'expliquera au paragraphe des Instruments, on a tous les éléments nécessaires pour construire les angles réduits à l'horizon des rayons visuels dirigés sur les points remarquables des édifices et au besoin les angles de hauteur de ces mêmes rayons visuels ou, après la restitution du plan, pour calculer les différences de niveau des points considérés et de la station.

Pour obtenir les angles réduits à l'horizon, il suffit, en effet, de rabattre le point de vue O autour de la ligne d'horizon dans le plan du tableau en O_r, puis, après avoir abaissé des perpendiculaires aa', bb', cc', ... des points considérés sur la ligne de terre, de joindre O_r aux pieds a', b', c', ... de ces perpendiculaires. L'angle de hauteur d'un point quelconque, par exemple du sommet e du dôme du temple, s'obtiendrait aussi facilement par le rabattement du triangle rectangle $O e' e$ autour de $O e'$ qui donne sur la figure l'angle $e' O_r e$ cherché. Mais on a rarement besoin de considérer ces angles de hauteur et l'on se sert plutôt des hauteurs apparentes linéaires mesurées sur le tableau dans les calculs du nivellement.

Revenons à la figure sur laquelle, après avoir déterminé le point de fuite F des appuis des fenêtres, des bandeaux, de toutes les lignes horizontales apparentes sur la façade de l'aile gauche de la caserne et le point de fuite F' de la corniche de la base du dôme du temple, on a marqué les points de dis-

tance D et D′. En prenant le bord de gauche du tableau pour échelle des hauteurs et en menant la ligne de terre LT à

Fig. 17.



Restitution du plan de la cour du quartier de Panthemont.
Réduction à $\frac{1}{5}$ de l'original.

une distance de la ligne d'horizon LH égale à la hauteur du point de vue au-dessus du sol de la cour inférieure dont l'aile

en question forme l'un des côtés, hauteur réduite à cette même échelle, enfin, en joignant le point de fuite F au point L, de la ligne de terre, on a eu les trois axes coordonnés ou échelles des hauteurs, des largeurs et des éloignements. En prolongeant alors les verticales de la perspective de l'aile considérée jusqu'à la rencontre de l'échelle des éloignements et en joignant le point de distance D à ces points d'intersection, on a restitué les largeurs des fenêtres et des trumeaux de toute la partie visible de la façade. Les hauteurs et les largeurs étant ainsi obtenues à la même échelle, le plan et l'élévation de cette partie de l'édifice se construiraient immédiatement à cette échelle ou à telle autre que l'on voudrait choisir. On voit encore sur la figure comment, après avoir tracé le côté de la cour formé par la façade de l'aile (par une parallèle à $O_r F$), on a obtenu le côté formé par la façade du bâtiment du fond avec ses ouvertures, le trumeau et le pilastre qui y est appliqué. En passant au monument qui occupe le côté droit de la perspective (temple de Panthemont), on a déterminé, à l'aide du point de fuite F′ et du point de distance D′, les positions respectives des axes de quatre parties de l'édifice, dont la projection horizontale et l'élévation se déduiraient facilement.

Il doit être bien entendu, d'ailleurs, qu'avant d'exécuter définitivement le plan et les élévations dont nous venons de parler en indiquant la marche à suivre pour en recueillir les éléments, on doit faire choix d'une échelle et s'être procuré, par conséquent, par une mesure directe, la grandeur réelle d'une ligne de l'un des édifices, hauteur d'un étage, distance horizontale de deux ouvertures suffisamment espacées, etc.

Restitution partielle de Santa Maria delle Grazzie, a Milan. — Nous avons pris pour second exemple la restitution d'une partie du plan, de la façade principale et de l'une des façades latérales de Santa Maria delle Grazzie, de Milan, dont le dôme élégant est l'œuvre du célèbre Bramante, d'après une photographie trouvée dans le commerce et sans aucun autre renseignement (*Pl. VI*).

Ainsi, nous ne connaissions immédiatement ni la distance focale de l'appareil, c'est-à-dire la distance du point de vue au

tableau, ni la ligne d'horizon, ni la position du point principal, ni enfin l'une des dimensions au moins relevée sur l'édifice, nécessaire pour déterminer l'échelle du plan et celle des élévations. Or il est aisé de voir, néanmoins, qu'il est indispensable de connaître ces données essentielles, et nous ne saurions trop, dans l'intérêt de tous, recommander aux opérateurs de les recueillir et de les inscrire sur leurs clichés, mais nous avons voulu montrer qu'en leur absence on peut encore souvent utiliser de bonnes photographies de monuments.

La question de l'échelle, en particulier, ne doit pas empêcher d'effectuer les restitutions. Ainsi, nous avons sûrement commis une légère erreur en *estimant* la hauteur du pilastre d'angle des deux façades, et nous en avons été quitte pour prévenir que l'échelle dont nous nous servions était seulement approximative, ce qui ne nuit d'ailleurs en rien à l'exactitude des proportions dans les restitutions.

Il n'y a pas lieu d'insister sur la manière de fixer sur le papier la position du sommet de l'angle droit des deux façades d'après la distance du point de vue à l'arête du pilastre d'angle sur la ligne d'horizon, en tenant compte de l'échelle choisie. Ce problème se résout par une règle de trois que tout le monde peut appliquer. On sait, d'un autre côté, que les directions des deux façades sont respectivement parallèles aux deux côtés de l'angle droit qui a son sommet au point de vue et aboutissent aux deux points de fuite.

Le reste de la construction du plan ne présente aucune difficulté, mais nous devons nous arrêter pendant quelques instants au procédé, d'ailleurs également très simple, à employer pour obtenir, soit à l'échelle du plan, soit à une autre échelle, les hauteurs des différents points de l'édifice dont on a besoin pour dessiner les élévations.

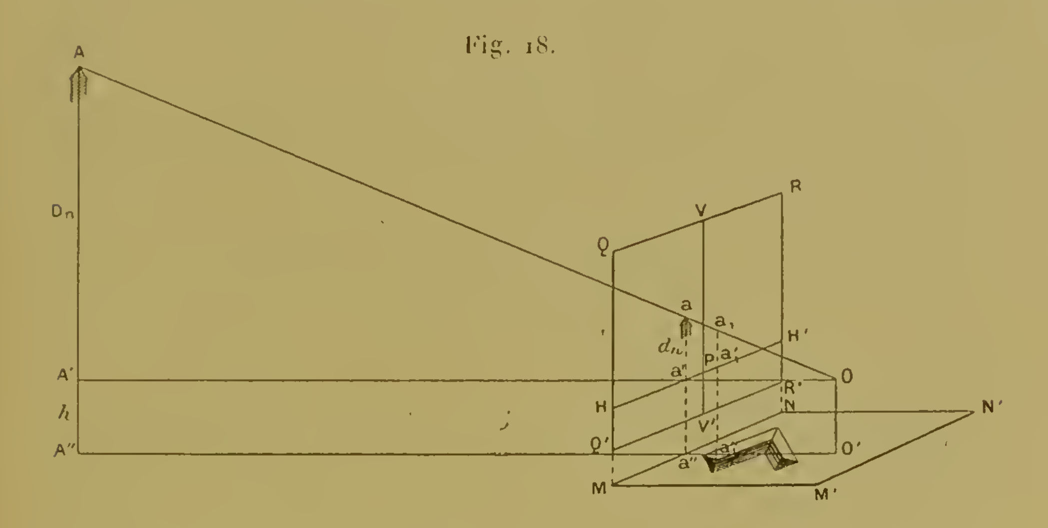
La figure suivante (*fig.* 18) permet de bien se rendre compte de ce procédé.

O étant le point de vue, QRQ'R' le tableau, HH' la ligne d'horizon, VV' la ligne principale, enfin OO' la hauteur du point de vue au-dessus de la station, si nous supposons le plan construit par la méthode précédente et disposé en avant du tableau en MNM'N' (pour éviter de compliquer la figure, nous

avons admis que ce plan était posé sur le sol, c'est-à-dire au niveau de la station); en considérant un point quelconque A d'un monument ou d'un paysage, sa perspective a déterminée par la rencontre du rayon visuel OA et du tableau, enfin le point a_1'' qui en est la projection horizontale sur le plan, à l'échelle adoptée, on voit aisément comment s'obtient la différence de niveau D_n du point A et du plan de l'horizon, et par suite la hauteur de ce point par rapport à la station.

En abaissant la perpendiculaire aa' sur la ligne d'horizon et en menant Oa' dans le plan d'horizon, cette ligne prolongée

Fig. 18.



rencontrera en A' la verticale AA' du point A. Les deux triangles semblables OAA' et Oaa' donneront donc la proportion $\frac{D_n}{d_n} = \frac{OA'}{Oa'}$ dans laquelle la différence de niveau D_n est seule inconnue. En effet, aa' ou d_n peut être mesuré en millimètres sur le dessin ou la photographie, $Oa' = O'a''$ se mesurera sur le plan, toujours en millimètres, et OA' est représenté par $O'a_1''$ sur le même plan, mais en tenant compte de l'échelle pour l'exprimer en mètres.

Supposons, par exemple, que l'on trouve

$$aa' = d_n = 0^m,060; \qquad Oa' = O'a'' = 0^m,324$$

et

$$O'a_1'' = 0^m,275,$$

l'échelle du plan étant supposé $\frac{1}{200}$: d'où il résulte que $OA' = 55^m$.

On aura

$$D_n = \frac{d_n}{Oa'} \times OA' = \frac{60}{324} \times 55^m = 9^m,41.$$

Mais le point de vue est situé à une hauteur h au-dessus de la station. Supposons $h = 1^m,50$, qui est la hauteur habituelle des instruments (mais qu'il convient de mesurer exactement), la différence de niveau du point A et de la station sera

$$D_n + h = 9^m,41 + 1^m,50 = 10^m,91.$$

Nous n'avons pas craint de donner ces détails, sans doute inutiles pour un grand nombre de lecteurs, mais indispensables pour les débutants. Ils nous dispenseront, d'ailleurs, de revenir sur la question du nivellement en général, quand nous nous occuperons plus spécialement de la construction des plans topographiques et du tracé des courbes de niveau qui en expriment le relief.

Ce que l'on vient de voir fait d'ailleurs parfaitement comprendre comment, avec le plan d'un édifice comme Santa Maria delle Grazzie et l'unique photographie sur laquelle se trouvent les deux façades, il a été facile de restituer le profil du dôme en quelque sorte point par point, et les justes proportions des autres détails des deux façades elles-mêmes.

La *Pl. VI*, qui est une réduction au tiers de la photographie et des restitutions qu'elle a servi à obtenir, donne une idée de la perfection avec laquelle peuvent être effectuées ces restitutions. Nous ajouterons simplement que l'ensemble a été exécuté en douze heures : la partie géométrique par un dessinateur exercé, et la partie artistique par un architecte de talent.

Il nous semble que ce dernier exemple devrait suffire pour décider les photographes qui s'occupent d'Archéologie et d'Architecture en général, et ceux qui opèrent si souvent sur les chantiers des ingénieurs pour relever les grands travaux d'art,

à prendre la peine d'indiquer sur leurs épreuves la distance focale de leur objectif, et à y inscrire la grandeur réelle mesurée d'un élément au moins pour servir d'échelle. Il serait également à souhaiter, et cela est généralement facile, comme on pourra le voir aux paragraphes des instruments, qu'ils prissent quelques précautions dans la mise en station des appareils, et pour assurer le moyen de retrouver la ligne d'horizon et le point principal sur chacune de ces épreuves.

Nous reviendrons naturellement sur ce sujet, mais nous ne saurions trop insister, en ce moment même et après avoir traité précisément dans ce but la question spéciale précédente, sur l'utilité des précautions conseillées, ni trop engager nos architectes et nos ingénieurs à profiter de toutes les ressources que leur offre la Photographie (1).

XV. — *Quelques observations sur les conditions de la vision.*

Limitation de la distance du point de vue au tableau et de l'angle visuel. — Pour terminer les considérations générales dont nous avons voulu faire précéder la Métrophotographie appliquée au lever des plans, nous présenterons encore quelques observations sur les limites de la distance du tableau à l'observateur, et de l'amplitude de l'angle visuel qui influent nécessairement sur l'usage que l'on peut faire des perspectives dessinées ou photographiées pour restituer aux objets représentés leurs véritables positions relatives et leurs dimensions. Ces limites sont imposées par notre organisation elle-même.

On se rendra immédiatement compte des meilleures conditions dans lesquelles il convient de se placer pour dessiner

(1) On a compris la sérieuse importance de cette branche de la Métrophotographie dans d'autres pays, principalement en Prusse, où l'on est allé jusqu'à organiser un service public sous le nom d'*Institut photogrammétrique*, pour restituer les plans avec leurs élévations en nombre suffisant de tous les édifices publics intéressants et des grands travaux d'art.

une perspective ou pour regarder un tableau exécuté, en se reportant à la *fig.* 140, page 391 du tome I de cet Ouvrage, qui représente l'un des perspectographes les plus anciens et les plus simples, composé d'une vitre et d'un œilleton. On conçoit, en effet, que la distance de l'œilleton, qui figure matériellement le point de vue, à la vitre, c'est-à-dire au tableau, est celle de la vue distincte ordinaire, de $0^m,25$ à $0^m,30$, et l'on pourrait ajouter que la longueur du bras de l'opérateur ne lui permettrait pas d'augmenter beaucoup cette distance. Quant à l'angle visuel ou champ du tableau dans le sens horizontal, il ne semblerait pas impossible de lui donner une grande amplitude, mais, à de rares exceptions près, les peintres ont toujours cherché à permettre au spectateur d'embrasser le tableau d'un seul coup d'œil, afin de rendre plus parfaite l'illusion de la restitution du sujet dans l'espace, et ils ont été conduits ainsi à donner à ce tableau une largeur tout au plus égale à la distance du point de vue, ce qui donne 50° environ pour l'amplitude de l'angle visuel (¹).

Hâtons-nous de dire que, dans la pratique de la peinture, on amplifie généralement, en craticulant, le dessin exécuté dans ces conditions rigoureuses ou dans des conditions analogues, mais alors, naturellement, la distance du point de vue au tableau s'accroît proportionnellement, et c'est ainsi que, pour se placer au point de vue, on regarde les grandes toiles d'assez loin.

Nous pourrions insister, à cette occasion, sur la convenance, quand on tient à accroître l'illusion, de se placer exactement au point de vue, aussi bien pour des peintures,

---

(¹) Dans le tableau de *la Cène,* de Léonard de Vinci, la distance du point de vue est égale à la largeur de ce tableau. Ce grand peintre avait cependant donné deux règles qui augmentaient encore cette distance : dans la première, il la voulait triple, et dans la seconde, elle était double de la largeur du tableau.

Raphaël a souvent réduit aussi la distance à la largeur du tableau.

Egnatio Danti lui donnait une fois et demie à deux fois cette largeur.

D'autres peintres et d'autres auteurs ont varié pour la distance toujours entre une largeur et trois largeurs; aucun n'a admis une distance inférieure à celle de la perpendiculaire abaissée du point de vue pris pour sommet d'un triangle équilatéral construit sur la largeur du tableau, ce qui donne le champ maximum de 60°.

des dessins, ou même des photographies de dimensions réduites que pour les plus grands tableaux ; mais cette question, tout intéressante qu'elle soit, ne crée pas de condition absolue, et nous renvoyons le lecteur qui voudrait en faire une étude approfondie au *Traité de Perspective* de M. de la Gournerie, et à l'excellente brochure de M. le commandant Colson intitulée : *La Perspective en Photographie* (¹).

Il nous suffit, en effet, d'avoir indiqué les conditions générales de la vision pour en conclure qu'il doit être avantageux de s'en rapprocher autant que possible, et nous ferons remarquer, en passant, que c'est précisément ce qui arrive quand on emploie la chambre claire pour dessiner des vues de monuments ou de paysages.

On peut prévoir également que, lorsqu'on a recours aux appareils photographiques, la distance focale n'étant autre chose que la distance du point de vue au tableau, ne devrait pas trop s'éloigner de celle de la vue distincte, de $0^m,25$ à $0^m,30$.

Il y a d'ailleurs une autre considération que nous avons déjà fait valoir et sur laquelle nous insisterons plus loin, à savoir que les *lignes de visée* dont on se sert dans les constructions graphiques doivent être de cet ordre de grandeur.

(¹) COLSON (R.), *La Perspective en Photographie*. In-18 jésus; 1894 (Paris, Gauthier-Villars et fils). — Dans l'Avant-propos, le commandant Colson précise en quelques mots les conditions d'exactitude de l'effet que doit produire la vue d'une peinture :

« La nécessité d'une perspective géométrique conforme à la vue directe du modèle s'impose tout d'abord. Cette condition est remplie lorsque, le dessin ou le tableau étant supposé transparent et interposé à distance convenable entre l'œil et les objets eux-mêmes, les rayons lumineux qui partent des différents points de ces objets et qui aboutissent à l'œil passent par les points correspondants des images représentées.

» Inversement, toutes les fois que l'œil sera placé dans cette même position par rapport au dessin ou au tableau, l'observateur remontera par la pensée le trajet de ces rayons lumineux et reconstituera instinctivement la notion des objets, placés à leurs distances, comme s'il les apercevait directement.

» Telle est l'explication du mot *perspective*, formé de deux mots latins : *specto*, je vois, *per*, au travers. »

Nous arrêterons ici le long préambule dont nous avons cru devoir faire précéder l'exposé d'une méthode et la description d'appareils employés par nous depuis près d'un demi-siècle, et celui des développements et des perfectionnements qu'ils ont reçus, dans ces dernières années, d'un grand nombre de savants et d'habiles constructeurs, en France et surtout à l'Étranger. Peut-être eussions-nous pu nous dispenser d'entrer aujourd'hui dans autant de détails, la cause que nous avons eu tant de peine à défendre paraissant bien définitivement gagnée. Mais le titre que nous avions adopté nous imposait l'obligation de ne pas passer sous silence les tentatives faites par d'autres, et, d'un autre côté, il nous semblait nécessaire, pour un assez grand nombre de lecteurs, de rappeler les notions principales de la perspective, auxquelles nous avons eu et nous aurons encore souvent besoin de recourir.

ICONOMÉTRIE TOPOGRAPHIQUE.

Quod quoniam vinco fieri, nunc esse docebo.

LUCRÈCE.

MÉTHODES.

1. — *Solution générale du problème inverse de la perspective.*

Si l'on peut, à l'aide d'une vue unique, restituer en plan et en élévations les parties apparentes d'un édifice ou même d'un groupe d'édifices présentant un grand nombre de lignes verticales et horizontales, il n'en est plus de même quand on se trouve en face d'un paysage, c'est-à-dire de la nature avec ses formes accidentées.

Les règles de la perspective sont toujours utiles, indispensables même, car on les applique incessamment et instinctivement, mais elles deviennent insuffisantes, dans le cas supposé, pour permettre de restituer des formes qui ne présentent plus la simplicité, la régularité particulière aux constructions faites de mains d'hommes.

Il convient donc, alors, d'envisager le problème dont il s'agit dans toute sa généralité et l'on est ainsi ramené à la nécessité de changer de station, c'est-à-dire de recourir à l'emploi de vues combinées, en un mot à l'idée des premiers géomètres qui, pour éviter de multiplier les mesures des longueurs, ont imaginé la méthode des intersections.

Nous allons d'ailleurs présenter la solution de cette question sous la forme d'une démonstration de Géométrie descriptive, comme nous l'avions fait dans le *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques* inséré au *Mémorial de l'Officier du Génie*, n° 16, année 1854.

« Supposons un observateur transporté successivement à deux points de vue dont il connaîtrait la distance et la différence de niveau.

» Si, de chaque station, il suit de l'œil une ligne remarquable du terrain, le bord d'une route ou d'un cours d'eau, par exemple, cette ligne pourra être considérée comme l'intersection de deux surfaces coniques ayant respectivement leurs sommets aux deux points de vue et pour génératrices les rayons visuels indéfiniment prolongés. Projetons ces surfaces sur un plan horizontal quelconque; les intersections deux à deux des projections des rayons visuels qui aboutissent aux mêmes points du terrain seront les projections de ces points, et, en les joignant convenablement, nous aurons la projection horizontale, c'est-à-dire le *plan* du bord de la route ou de toute autre ligne visible des deux stations. Or, les surfaces coniques sur lesquelles nous venons de raisonner se trouvent géométriquement déterminées, lorsqu'on emploie la chambre claire, puisque les perspectives prises de chaque point de vue sont les traces de ces surfaces sur des plans verticaux et que l'on connaît la position de leurs sommets par rapport à ces plans.

» On conçoit donc qu'en opérant convenablement sur ces perspectives, on doit pouvoir parvenir au résultat que nous venons d'indiquer.

» On obtiendra d'abord les projections horizontales des rayons visuels à chaque station, en abaissant, de tous les points remarquables de la perspective dessinée de cette station, des perpendiculaires sur la ligne d'horizon et en joignant le point de vue aux pieds de ces perpendiculaires. Cette construction s'exécutera dans le plan même du tableau, en opérant le rabattement du point de vue dans ce plan, autour de la ligne d'horizon prise pour charnière.

» On transportera ensuite ces opérations sur un plan (une feuille de dessin), en conservant les rapports de position des deux points et d'un troisième point du terrain au moins, et, pour cela, il suffira de rattacher la direction de la base à celle de l'un des rayons de chaque perspective, au moyen de l'observation de quelques angles que l'instrument permet de mesurer directement; enfin il ne restera qu'à chercher les intersections des projections des rayons visuels aboutissant aux mêmes points.

» Nous avons supposé deux stations seulement, parce

qu'elles sont, en effet, suffisantes pour la détermination des points qui se trouvent contenus dans les deux perspectives; mais habituellement les divers accidents du terrain se projettent les uns sur les autres, et il devient indispensable de multiplier les points de vue pour découvrir tout ce qui intéresse la reconnaissance : les mêmes points sont alors répétés sur plusieurs perspectives, et il en résulte de nombreuses vérifications entièrement analogues à celles que l'on obtient par la méthode ordinaire des intersections, méthode avec laquelle celle des perspectives a tout naturellement les plus grands rapports.

» Nous ferons encore remarquer qu'une fois le plan construit, on peut obtenir sans peine les cotes de nivellement de tous les points directement déterminés; car, en prenant le plan d'horizon de l'une des perspectives pour le plan de comparaison, on trouvera les distances réelles des différents points à ce plan au moyen des distances verticales de leurs perspectives à la ligne d'horizon (hauteurs linéaires apparentes), soit en rabattant chaque rayon visuel autour de sa projection horizontale et en évaluant, à l'échelle de la carte ou du plan, la longueur de la perpendiculaire élevée par le point correspondant jusqu'à la rencontre du rayon visuel, soit, ce qui revient au même, en cherchant le quatrième terme d'une proportion dont les trois autres connus sont : la distance du point de vue au point considéré mesuré sur le plan, la longueur de la projection horizontale du rayon visuel jusqu'à la ligne d'horizon et la *hauteur apparente positive ou négative* du point sur le plan du tableau.

» Telle est la solution générale du *problème de la transformation des perspectives en plans.* »

Il serait inutile de rien ajouter, pensons-nous, à cet exposé très simple d'une méthode qui s'est appliquée aussi bien aux vues photographiées qu'aux vues dessinées à la chambre claire pour lesquelles elle avait été proposée.

II. — *Premières expériences faites avec des vues dessinées à la chambre claire.*

Il va suffire d'ailleurs de prendre un ou deux exemples pour montrer avec quelle facilité on opère et pour faire pressentir le degré de précision sur lequel on peut compter. On nous permettra de reproduire, dans ce but, les deux plus anciennes expériences faites sur des vues prises avec la chambre claire et qui remontent à l'année 1850 (¹).

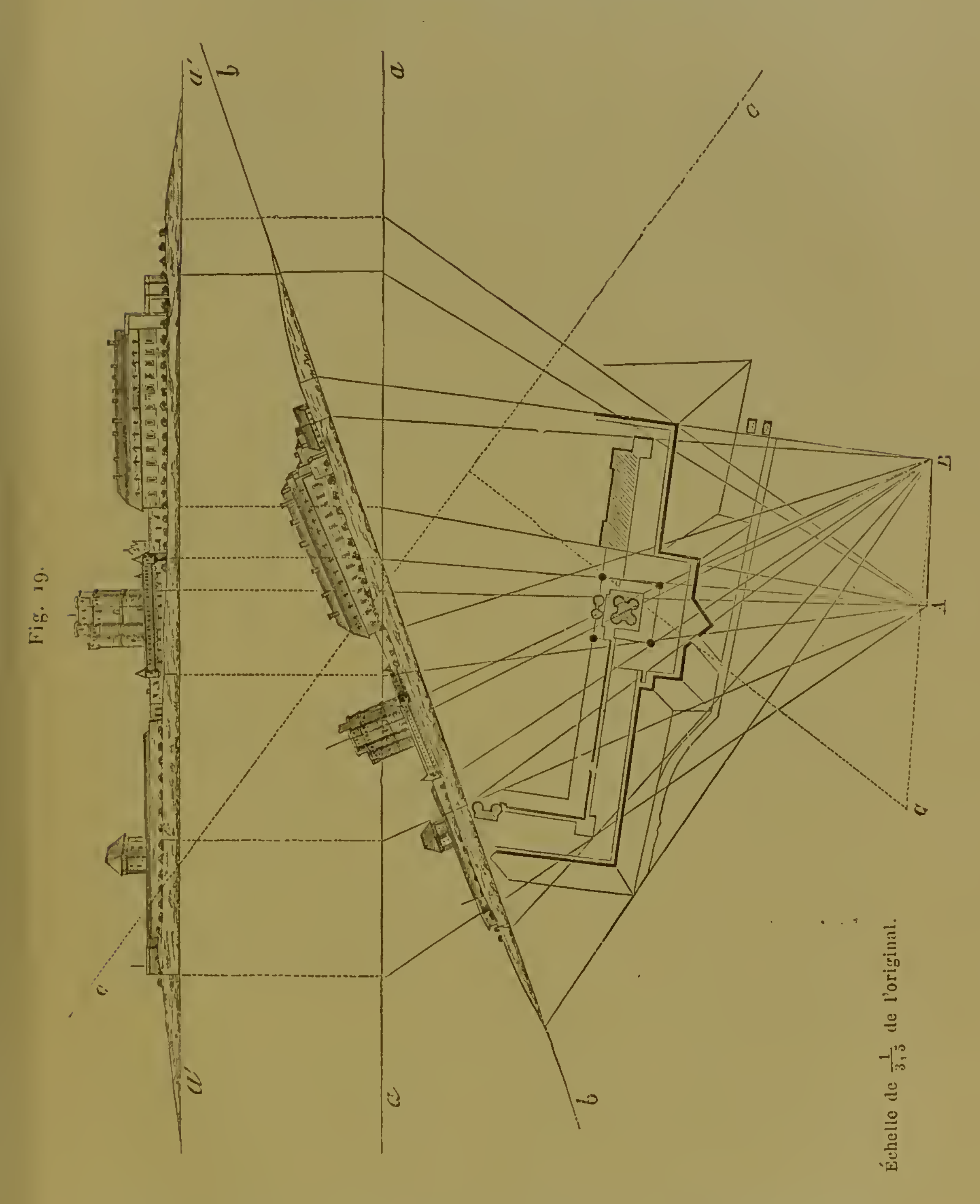
La *fig.* 19 représente le plan de l'un des côtés du fort de Vincennes et deux des trois vues qui ont servi à le construire. Les points A, B et C sont les stations d'où ces vues ont été dessinées; les deux vues *aa* (reportée en *aa'* pour éviter l'entrecroisement des images et la confusion qui en résulterait) et *bb*, prises des stations A et B, rabattues autour de la ligne d'horizon de chaque perspective, ont été orientées sur la feuille de dessin, en avant de chacune de ces stations, d'après trois opérations entièrement identiques avec celles que l'on exécute habituellement sur le terrain, savoir :

1° La mesure de la distance AB des deux stations, à la chaîne ou à la stadia, rapportée sur le dessin à l'échelle adoptée pour le plan;

2° et 3° La mesure des angles que forment avec la base deux rayons visuels partant l'un du point A et l'autre du point B et aboutissant au même point du paysage, par exemple, dans le cas actuel, à la pointe du paratonnerre que l'on voit au sommet du donjon situé vers le milieu de chacune des perspectives.

(¹) Les vues dessinées à la chambre claire, quoique nécessairement moins complètes et moins arrêtées dans leurs détails que des vues photographiées, étant exemptes de déformations dans toute leur étendue, devaient être, à l'époque dont il s'agit, considérées comme plus exactes que les dernières. Mais aujourd'hui, avec les perfectionnements apportés à la construction des objectifs, il n'en est plus de même et le degré de précision que l'on peut obtenir en employant des photographies est plutôt supérieur, à cause de la netteté des images beaucoup plus grande que sur les dessins les plus soignés.

Il est bien entendu que chaque vue rabattue autour de sa



ligne d'horizon fait corps, pour ainsi dire, avec la perpendiculaire abaissée du point de vue sur cette ligne, c'est-à-dire

avec la distance du point de vue au tableau et par conséquent avec ce point de vue lui-même.

Planimétrie. — Les deux vues étant orientées par rapport à la base, en abaissant de chacun des mêmes points remarquables que l'on y découvre, des perpendiculaires sur les lignes d'horizon *aa* et *bb*, et en joignant les pieds de ces perpendiculaires respectivement au point A et au point B, l'intersection des deux lignes ainsi tracées détermine, sur le plan, la projection de chaque point considéré.

Il est aisé de reconnaître sur la figure comment ont été trouvées, par exemple, la longueur de la façade de la grande caserne que l'on voit sur la droite des perspectives, les positions des petites guérites de pierre (échauguettes) situées aux angles de l'enceinte crénelée qui enveloppe le bas du donjon, etc.

On opérerait de la même manière en combinant la vue *cc* prise du point C avec l'une des deux autres, soit pour déterminer de nouveaux points, soit pour vérifier ceux qui résultent de la combinaison des deux premières.

Nivellement. — La ligne d'horizon d'une perspective étant la trace du plan horizontal qui passe par le point de vue sur le plan du tableau, tous les points du paysage situés sur cette ligne sont au même niveau que le point de vue.

Cela étant, il est aisé de concevoir, et on l'a déjà vu plus haut, page 47, § XIV, comment on peut calculer les différences de niveau de ce point de vue (ou de la station qui est un point du terrain situé au-dessous d'une quantité variant de $1^m,20$ à $1^m,50$ que l'on doit mesurer exactement) et de tous les points reconnaissables sur les perspectives.

Ainsi, en admettant que le plan soit construit à l'échelle de $\frac{1}{7000}$ (en réalité, il a été construit à l'échelle de $\frac{1}{2000}$, mais il a été réduit pour faire tenir la figure dans le texte), mesurons en millimètres : la hauteur apparente, 15^{mm}, du sommet de la tige du paratonnerre au-dessus de la ligne d'horizon; la distance du point de vue A au pied de la perpendiculaire abaissée sur la ligne d'horizon, 67^{mm}; enfin la distance de ce même

point de vue au donjon, sur le plan, 37^{mm} ; faisons la proportion $\frac{15}{67} = \frac{x}{37}$, d'où $x = 8^{mm},28$, qui, multipliés par le dénominateur de l'échelle 7000, donnent pour la hauteur cherchée $57^{m},96$.

La même opération effectuée rapidement avec la règle à calcul permet de déterminer les différences de niveau de tous les points de la perspective rapportés sur le plan.

Il ne faut pas oublier de tenir compte de la hauteur du point de vue au-dessus de la station considérée. Ainsi, dans le cas actuel, ce point de vue était situé à $1^{m},40$ au-dessus du sol et la différence de niveau cherchée était, par conséquent, de $57^{m},96 + 1^{m},40 = 59^{m},36$.

Enfin, il est clair qu'en répétant la même opération sur une seconde perspective qui contient le même point, la différence de niveau des stations d'où ont été prises les deux perspectives étant connue, on a un moyen simple de vérification.

Le second exemple se rapporte à la reconnaissance de la forteresse du Mont-Valérien et est tout aussi facile à suivre sur la *Pl. VII*. La base xy mesurée sur le terrain avait été rapportée sur la feuille de dessin en $x'y'$ à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ adoptée pour le plan que nous avons construit, mais qui a été réduite à $\frac{1}{10000}$ pour la figure gravée.

Pour orienter sur cette base les deux vues dessinées à la chambre claire et rabattues autour de leur ligne d'horizon, on se servit des deux angles $a'x'y' = 26^{\circ}30'$ et $b'y'x' = 57^{\circ}$ évalués très simplement au moyen de la chambre claire elle-même.

On parvint ensuite facilement à identifier sur les deux vues, et malgré les déplacements dus à la perspective, les différents édifices de l'intérieur de la forteresse, leurs mêmes arêtes verticales, les angles des glacis de la fortification, etc.; puis, en opérant comme on l'a expliqué plus haut, on détermina sur le plan un assez grand nombre des points correspondants. Enfin, en marquant ces points sur une feuille de papier à calquer et en portant cette feuille sur un plan du

Mont-Valérien à la même échelle de $\frac{1}{5000}$, levé par les méthodes rigoureuses, la superposition n'accusa aucune erreur, *il y avait une coïncidence parfaite pour tous les points.*

Il serait sans doute inutile d'insister sur les conséquences d'un semblable résultat que tout le monde peut pressentir; il suffit donc de faire remarquer qu'il démontrait péremptoirement que la chambre claire modifiée dont nous avions fait usage ne produisait aucune déformation, conformément à la théorie d'ailleurs, ni aucun déplacement de l'image virtuelle, déplacement ou *parallaxe* dont on avait tant de peine à se débarrasser avec les anciens instruments du même genre.

Nous ne reviendrons pas, à propos de ce second exemple, sur ce que nous avons dit plus haut du calcul des cotes de nivellement, et quoique la gravure des vues du Mont-Valérien soit très nette, leur réduction a rendu les détails du terrain trop difficiles à identifier pour que l'on puisse les employer à se rendre compte de la marche à suivre dans le tracé des courbes de niveau. Nous n'avions pas essayé d'ailleurs d'exécuter ce tracé sur les vues originales de plus grandes dimensions, parce que le but que nous nous étions proposé était atteint, et c'est l'année suivante seulement, dans des reconnaissances étendues faites dans un pays encore plus accidenté, que nous avons pu constater avec quelle facilité on obtenait des cotes de nivellement assez nombreuses pour permettre de bien saisir et de reproduire les formes du terrain.

Nous donnerons plus loin des spécimens des résultats de ce genre obtenus surtout depuis que l'on a substitué aux dessins à la chambre claire des images photographiées.

III. — *Des cas où l'on peut recourir à des vues isolées.*

Quoique nous venions de voir qu'il est à peu près indispensable, pour construire le plan d'un terrain plus ou moins mouvementé, de changer de point de vue et de combiner plusieurs perspectives de ce terrain, il peut se présenter des cas où des vues isolées ou même une vue unique deviennent très avantageusement utilisables.

Ainsi, pour vérifier ou compléter des reconnaissances anciennes faites par les procédés ordinaires, des cartes ou des plans gravés plus ou moins exacts du commerce, des vues isolées prises de points favorablement situés, quoique indépendants les uns des autres, sont toujours d'un grand secours; nous avons eu bien des occasions d'en faire l'expérience.

Dans d'autres circonstances, une perspective unique peut même suffire pour aider à construire immédiatement quelques parties d'un plan qui serviraient au besoin de canevas et sur lesquelles on rapporterait d'autres mesures faites au pas ou à l'estime. En se plaçant, par exemple, au sommet d'un escarpement, d'une hauteur où d'un édifice d'où l'on découvre le rivage de la mer (les phares sont ainsi des stations très favorables), les bords d'un lac, d'un canal ou même ceux d'un fleuve, d'un cours d'eau dont la pente est faible, un observateur qui prend la perspective exacte de ces bords peut en exécuter le plan au moyen d'une construction géométrique.

Nous connaissons déjà le procédé de la craticulation indiqué aux *Notions préliminaires*, page 39, § XII, mais il y en a un autre, également applicable au cas d'une perspective dessinée sur tableau plan vertical et à celui d'une perspective tracée sur un tableau incliné à l'horizon, qui est fondé sur le principe très simple formulé de la manière suivante dans la *Géométrie descriptive*, de Monge :

« Lorsqu'on a un tableau offrant la perspective d'un objet déterminé, on peut en déduire la perspective du même objet prise du même point de vue et sur un tableau différent. En effet, l'œil et le premier tableau étant déterminés de position, la direction des rayons visuels menés de l'œil à chacun des points de l'objet se trouve fixée et l'on peut en déduire, par conséquent, leur rencontre avec la surface d'un autre tableau dont la position est donnée. »

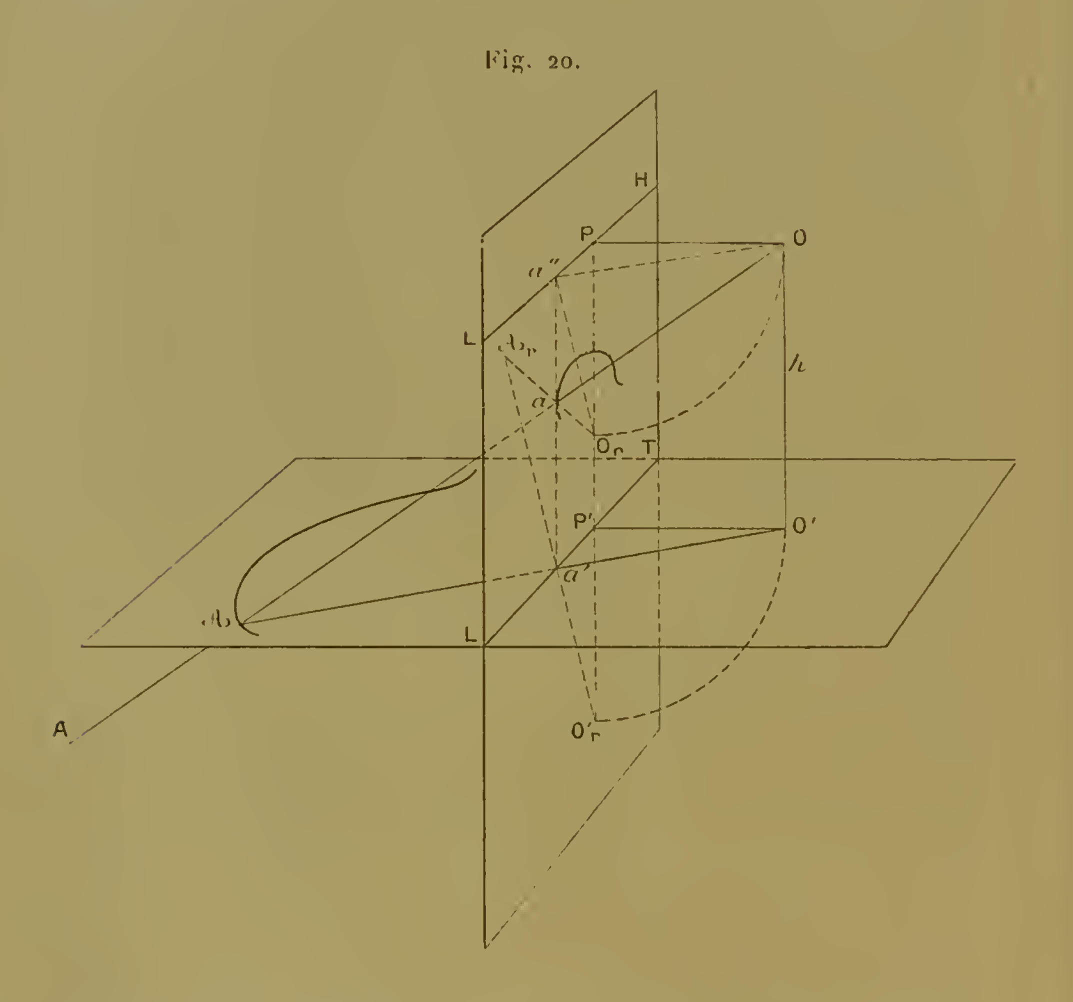
Dans le cas dont il s'agit, l'objet ou les objets considérés sont supposés contenus dans un même plan horizontal; en traçant donc les rayons visuels au moyen de la perspective verticale dessinée (ou photographiée) et en cherchant leurs traces sur un tableau horizontal, on obtiendra une figure

semblable au contour naturel, c'est-à-dire un plan dont l'échelle sera généralement facile à déterminer par une mesure prise sur le terrain.

Cherchons à effectuer, le plus simplement possible, cette transformation d'une perspective verticale en une perspective horizontale.

Il est évident d'abord, par la nature même de la question, que la ligne d'horizon laissera tous les points considérés de la

Fig. 20.



perspective au-dessous d'elle. Soit donc O (*fig.* 20) le point de vue, LH la ligne d'horizon et P le point principal; à une distance $OO' = h$ qui, selon l'échelle adoptée, peut être plus grande ou plus petite que OP, menons le plan horizontal qui doit actuellement être pris pour plan du tableau, joignons le point de vue O à un point quelconque *a* de la perspective

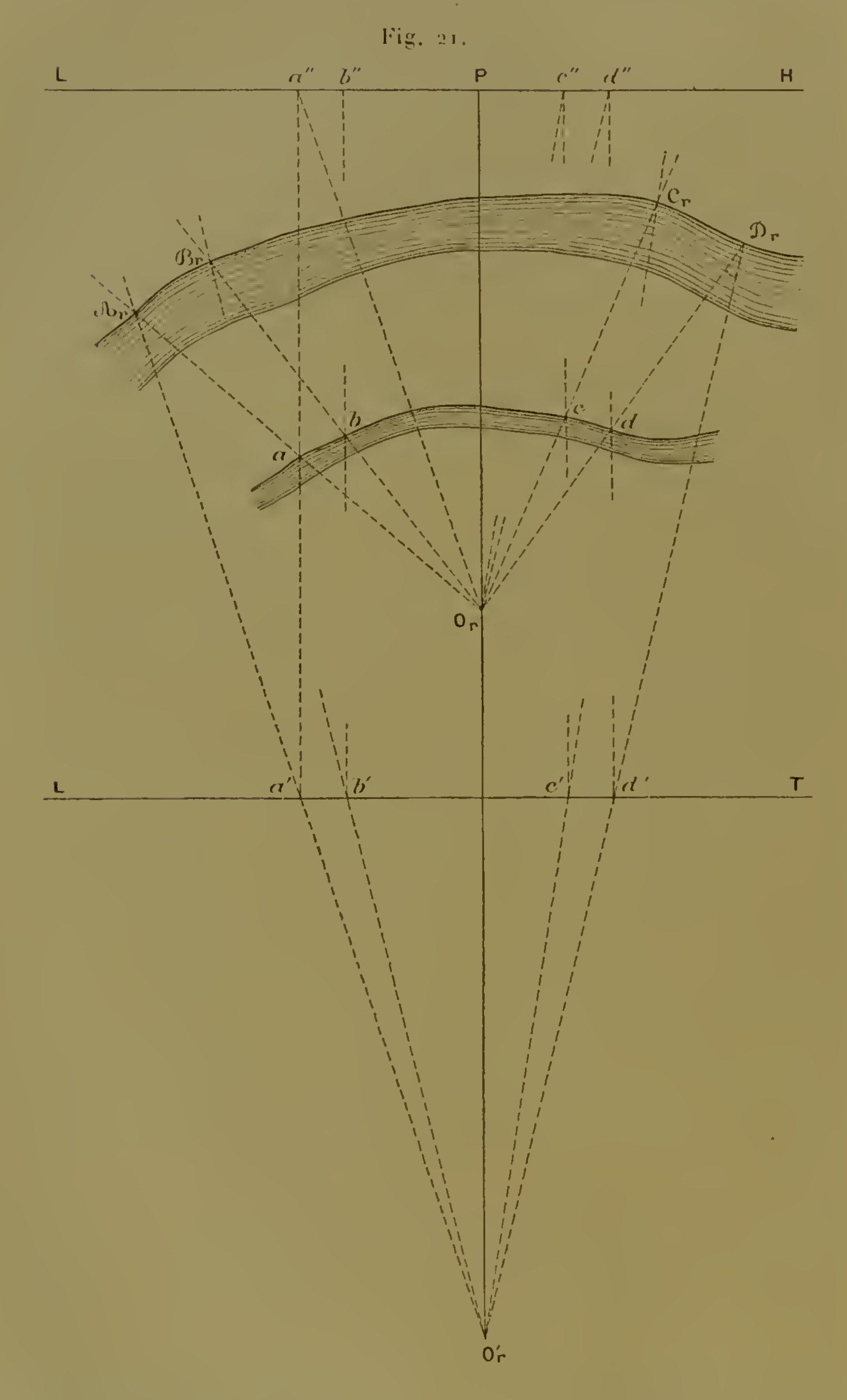
verticale et prolongeons indéfiniment le rayon visuel Oa : ce rayon percera le tableau horizontal en un point $\mathcal{A}$; supposons ce point trouvé et joignons-le à la projection O' du point de vue, $O'\mathcal{A}$ coupera la ligne de terre en a'. Par le point de vue, menons dans le plan d'horizon la ligne Oa'' parallèle à $O'\mathcal{A}$, les trois points a'', a et a' étant dans le plan vertical du rayon visuel seront sur une même ligne droite perpendiculaire à la ligne de terre et à la ligne d'horizon. Rabattons maintenant sur le tableau vertical, d'une part, le plan d'horizon qui aura la ligne d'horizon pour charnière et, de l'autre, le tableau horizontal que nous ferons tourner autour de la ligne de terre. Après cette double opération, les lignes $a''O_r$ et $\mathcal{A}_r a' O'_{r}$ seront encore parallèles comme l'étaient dans l'espace les lignes Oa'' et $O'a'\mathcal{A}$ dont elles sont les rabattements et la similitude des triangles $a''Oa$ et $\mathcal{A}a'a$ donnant la proportion $aa'' : aa' :: Oa'' : \mathcal{A}a'$, les triangles $a''O_r a$ et $\mathcal{A}_r a a'$ que l'on formera en joignant le point a aux points $\mathcal{A}_r$ et O_r seront semblables, d'où il suit que les trois points O_r, a et $\mathcal{A}_r$ sont en ligne droite.

On est ainsi conduit à la construction suivante faite sur le plan même du tableau vertical.

La perspective *abcd* (*fig.* 21) étant donnée ainsi que la ligne d'horizon et la distance OP du point de vue au tableau, à une distance h que nous pouvons prendre ici arbitrairement, menons la ligne de terre LT parallèle à la ligne d'horizon ; par les points a, b, c, d abaissons des perpendiculaires aa', etc. sur la ligne de terre ; en joignant O_r au point a et O'_r au point a', l'intersection des deux lignes $O_r a$ et $O'_r a'$ prolongées donnera le point $\mathcal{A}_r$ de la perspective horizontale ou du plan de la ligne sinueuse dont *abcd* est la perspective verticale, si tous les points de cette ligne sont situés dans un même plan horizontal.

La figure $\mathcal{A}_r\mathcal{B}_r\mathcal{C}_r\mathcal{D}_r$ est, en effet, semblable à ABCD et l'échelle du dessin sera le rapport $\frac{\mathcal{A}_r\mathcal{B}_r}{AB}$ des deux lignes homologues ou celui $\frac{h}{H}$ de la distance h du tableau horizontal au point de vue à la hauteur H de ce point de vue au-dessus

Fig. 21.



du niveau de ABCD; il suffira, par conséquent, de mesurer

sur le terrain la distance qui sépare deux des points A, B, C, D, ou de déterminer H.

Cette construction est la plus simple que l'on puisse imaginer; mais, si l'on voulait opérer sur une feuille de dessin de longueur réduite, on pourrait ne pas employer le point O'_r et arrêter l'épure à la ligne de terre. Il suffirait alors de tracer la perpendiculaire du point a entre les deux lignes LT et LH, de joindre O_r à a et à a'', puis de mener par a' une parallèle à $O_r a''$ jusqu'à la rencontre de $O_r a$ prolongée s'il est nécessaire.

Cette modification, facile à justifier en se reportant à la figure, a toutefois l'inconvénient d'exiger un peu plus de temps.

Pour que les constructions que l'on vient de décrire réussissent, il convient évidemment que le point de vue soit assez élevé au-dessus de la surface de l'eau ou du terrain, et que les bords dont on cherche la projection horizontale ne soient pas trop éloignés de la verticale du point de vue; enfin, pour les points situés dans le plan principal ou tout près de ce plan, les intersections des droites qui servent à les déterminer se feraient sous des angles trop aigus; on doit alors avoir recours au rabattement, sur le plan du tableau, des plans verticaux de chaque rayon visuel.

Dans les pays de plaines où l'on rencontre quelquefois des édifices d'une grande hauteur, un seul panorama pris du sommet de l'un de ces édifices et qui contiendrait les routes, les canaux, les cours d'eau et les autres accidents remarquables du terrain environnant, même des maisons dont on découvrirait le pied, fournirait les éléments d'une reconnaissance partielle, qui pourrait être encore passablement exacte (dans un rayon limité toutefois, comme nous le verrons bientôt), à la condition que le sol fût sensiblement de niveau [1].

La solution précédente, que nous avons appliquée, dès 1851, à des vues de côtes dessinées du haut des falaises de

---

[1] C'est le cas restreint considéré par Lambert, de Mulhouse, dans sa *Perspective libre*, cité antérieurement page 11.

la Manche, a acquis un bien plus grand intérêt depuis que l'on fait de la Photographie instantanée en ballon captif ou en ballon libre et même, comme nous l'avons déjà annoncé, au moyen de cerfs-volants. Il convient donc d'examiner les conditions dans lesquelles on pourrait avoir quelques chances d'opérer avec succès en se servant de ces stations aériennes.

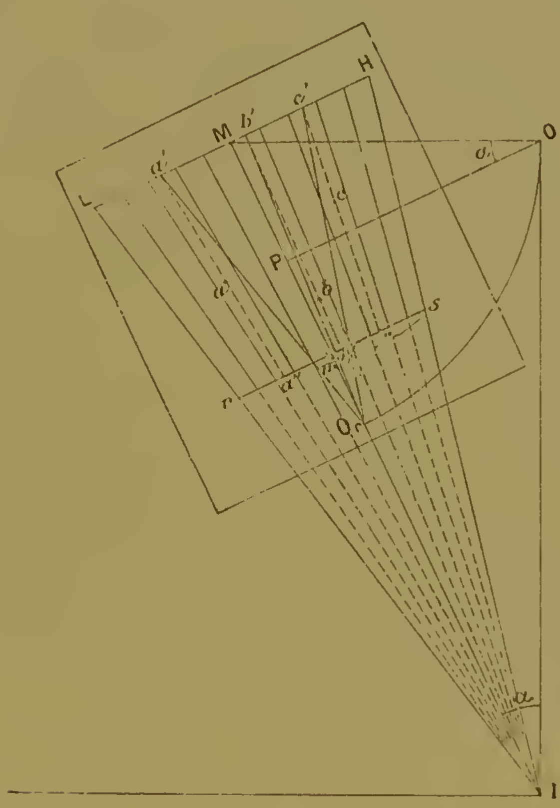
Il y a, on le conçoit, de précieuses propriétés communes à des vues prises de points très élevés au-dessus du terrain, mais il n'est pas moins indispensable de distinguer les cas où les tableaux sont verticaux, inclinés à l'horizon ou horizontaux. Le premier et le dernier cas ne présentent pas de difficultés particulières, et dans le dernier on peut même souvent obtenir des images qui sont de véritables plans ; mais, dans les deux cas, l'étendue du terrain embrassé est plus limitée que lorsqu'on incline convenablement le tableau. En pays de montagnes, on peut aussi être amené accidentellement à incliner l'axe optique de l'appareil pour découvrir des ravins profonds et rapprochés ou pour atteindre des parties élevées de roches abruptes dont le pied est également trop rapproché de la station.

IV. — *Tableaux inclinés sur l'horizon.*

La mesure de l'inclinaison du tableau et le repérage de la ligne d'horizon et du plan principal sur l'épreuve ont besoin d'être effectués avec le plus grand soin, mais le degré de précision que l'on peut obtenir dépend de la disposition des appareils spéciaux dont il ne sera question que dans le Chapitre suivant. Nous supposerons, en conséquence, pour le moment, que ces éléments sont parfaitement déterminés, ainsi que la distance du point de vue au tableau. Les données sont donc la ligne d'horizon LH tracée sur l'épreuve (*fig.* 22), l'inclinaison α du tableau et la distance OP du point de vue au tableau ; la position du point P, centre de l'épreuve, ou celle du point M, milieu de la ligne d'horizon, sont également connues et servent à la construction suivante.

Il s'agit encore d'obtenir les angles des rayons visuels réduits à l'horizon, non plus sur un tableau vertical, mais sur le tableau incliné. Or les lignes projetantes des points de la perspective oblique ne sont plus des perpendiculaires à la ligne d'horizon, mais des droites qui convergent vers le point

Fig. 22.



de rencontre de la verticale du point de vue et du plan du tableau. Ces droites sont, en effet, les traces des plans verticaux qui passent par le point de vue et par les différents points considérés, et leurs intersections avec la ligne d'horizon, jointes au point de vue ou à son rabattement sur le plan du tableau, donneront les projections horizontales cherchées des rayons visuels.

α étant l'inclinaison du plan du tableau sur la verticale, le point d'intersection I de la verticale du point de vue et du plan du tableau sera situé sur la perpendiculaire menée à la

ligne d'horizon dans ce plan à une distance $MI = \frac{OM}{\sin\alpha}$, et comme $OM = \frac{OP}{\cos\alpha}$, $MI = \frac{OP}{\sin\alpha\cos\alpha} = \frac{2\,OP}{\sin 2\alpha}$.

Si cette distance était trop grande pour que le point I pût être rapporté sur la feuille de dessin, on mènerait au bas de cette feuille une parallèle *rs* à la ligne d'horizon sur laquelle, et d'après la distance M*m* des deux parallèles, on prendrait une longueur *rs* proportionnelle à la longueur LH marquée sur la ligne d'horizon et près de ses extrémités. En divisant LH et *rs* en un même nombre de parties égales, les lignes projetantes des points *a*, *b*, *c* de la perspective, c'est-à-dire $a'a''$, $b'b''$, $c'c''$, ..., sont aisément obtenues en se guidant sur ces divisions. En joignant ensuite le point de vue rabattu O_r aux points a', b', c', ... de la ligne d'horizon, on a les angles réduits $a'O_rb'$, $a'O_rc'$, $b'O_rc'$, ...

Si une ou plusieurs vues sur tableau incliné ont été prises à terre et rattachées à d'autres vues prises dans des conditions ordinaires, c'est-à-dire sur des tableaux verticaux, la méthode qui vient d'être indiquée pour en déduire les angles réduits à l'horizon permettra de faire concourir ces éléments à la construction de parties du plan ou de la carte de la région ainsi explorée qui, autrement, eussent été peut-être inaccessibles.

V. — *Utilisation des vues aériennes sur tableaux inclinés dans les reconnaissances.*

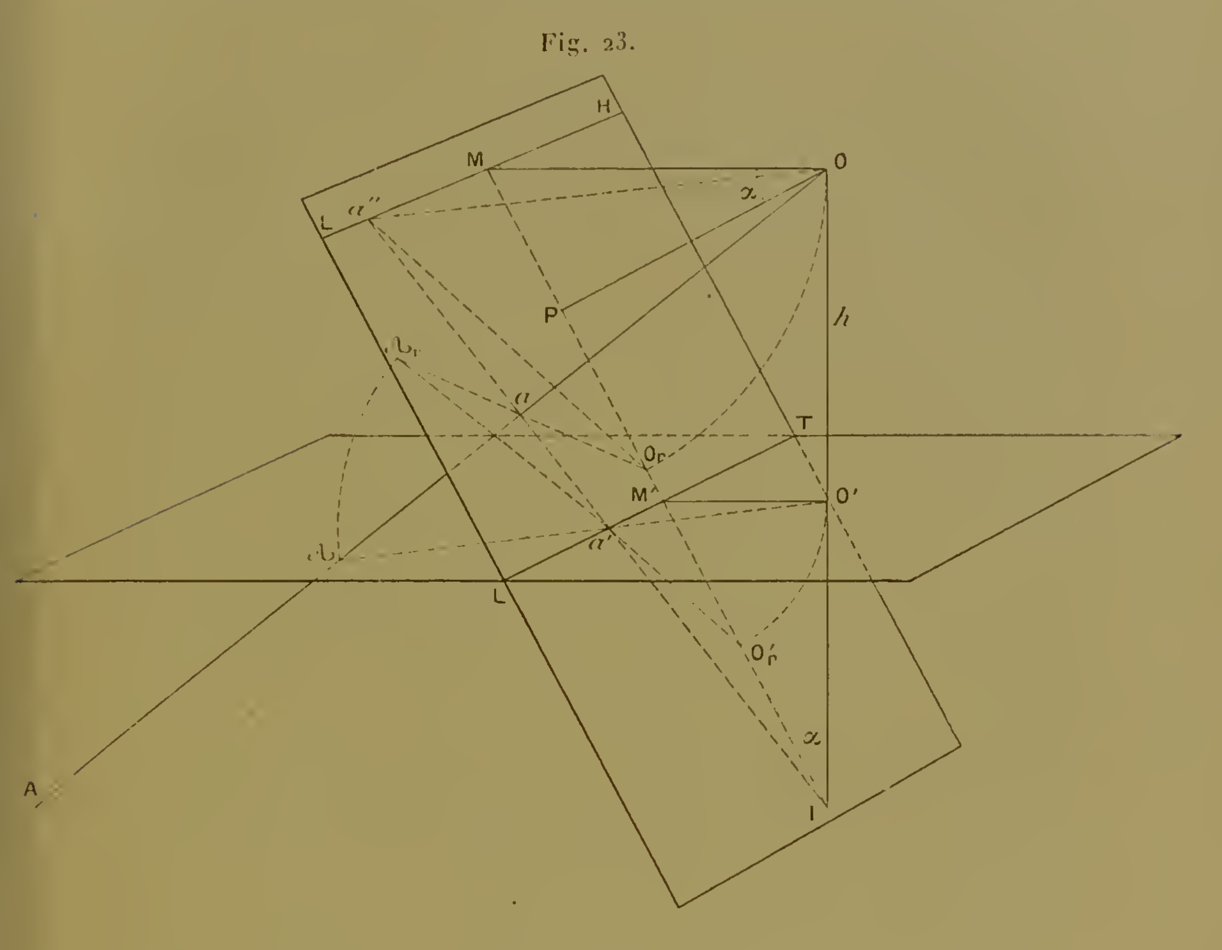
Mais nous devons surtout considérer indépendamment les vues aériennes obtenues sur des tableaux inclinés et tâcher d'y découvrir le parti que l'on en pourrait tirer dans des reconnaissances difficiles à tenter par les procédés ordinaires.

Pour opérer la transformation de ces perspectives ou du moins des parties qui sont certainement ou sensiblement horizontales, comme les bords de la mer, des lacs, des cours d'eau à faible pente, on peut suivre une marche analogue à

celle que nous avons indiquée pour la transformation des perspectives verticales en projections horizontales.

Soient LH (*fig.* 23) la ligne d'horizon, O le point de vue et M le pied de la perpendiculaire abaissée du point de vue sur

Fig. 23.



la ligne d'horizon, c'est-à-dire la trace du plan principal sur cette ligne. Parallèlement au plan d'horizon et par la ligne de terre LT, faisons passer le plan du nouveau tableau; projetons le point de vue en O' et prolongeons la verticale OO' jusqu'à sa rencontre en I avec le plan du tableau oblique. La trace MI du plan principal MOI rencontre la ligne de terre en M'; joignons O'M' et considérons un rayon visuel OA passant par le point *a* de la perspective et qui rencontrera le nouveau tableau horizontal en 𝒜; c'est ce dernier point qu'il s'agit de déterminer. La solution de cette question ne diffère de celle de la précédente qu'en ce que les plans verticaux des rayons

visuels, au lieu de couper le tableau suivant des droites parallèles perpendiculaires à la ligne de terre, le coupent suivant des droites divergentes et partant du point I que l'on détermine comme nous venons de l'expliquer un peu plus haut.

Si l'on joint $O'\mathcal{A}$ qui coupe la ligne de terre en a' et que l'on mène par le point de vue la ligne Oa'' parallèle à $O'a'$, les trois points a'', a et a' seront sur la ligne droite qui passe par le point I. Après le rabattement du plan d'horizon autour de LH et celui du tableau horizontal autour de LT, le point de vue étant en O_r et sa projection O' en O'_r, les droites $O_r a''$ et $O'_r a' \mathcal{A}_r$ seront parallèles et de plus les trois points O_r, a et $\mathcal{A}_r$ seront en ligne droite.

En effet, les deux triangles dans l'espace Oaa'' et $\mathcal{A}aa'$ étant semblables, on a la proportion $\frac{\mathcal{A}a'}{Oa''} = \frac{aa'}{aa''}$. Après les rabattements, les lignes $\mathcal{A}_r a'$ et $O_r a''$ n'ayant pas changé de grandeur, on aura toujours $\frac{\mathcal{A}_r a'}{O_r a''} = \frac{aa'}{aa''}$, d'où l'on conclut que les deux triangles tracés sur le tableau oblique $O_r aa''$ et $a'a\mathcal{A}_r$ sont semblables et que les trois points O_r, a et $\mathcal{A}_r$ sont bien en ligne droite.

La transformation des perspectives obtenues sur des plans obliques à l'horizon se déduit immédiatement de cette remarque, quand on connaît la hauteur du point de vue au-dessus du terrain supposé horizontal, la distance du point de vue au tableau et l'inclinaison du plan du tableau sur l'horizon.

En partant, en effet, de ces données, comme il est aisé de le voir ou plutôt comme on l'a déjà vu, α étant toujours l'inclinaison du plan du tableau sur la verticale ou le complément de l'inclinaison sur l'horizon, on a

$$MI = \frac{2OP}{\sin 2\alpha}, \qquad OM = \frac{OP}{\sin \alpha}, \qquad O'M' = OM - h \operatorname{tang} \alpha,$$

pour calculer les longueurs MI, OM et O'M' dont on a besoin. Une simple construction graphique suffit d'ailleurs pour obtenir ces quantités avec toute l'exactitude nécessaire, puisqu'il

s'agit, en définitive, d'en arriver à des constructions du même genre.

VI. — *Emploi de deux ou plusieurs vues prises sur des tableaux inclinés.*

Quand on est parvenu à photographier plusieurs vues d'un même site et de stations différentes, soit en ballon, soit à l'aide d'un cerf-volant, il est naturel de se demander comment on peut les combiner.

En supposant toujours que ces vues présentent des cours d'eau ou même simplement des routes sensiblement horizontales, on peut espérer parvenir assez souvent à déterminer, avec une précision suffisante, un certain nombre de points isolés choisis parmi les plus remarquables, les extrémités d'une digue, les arches d'un pont au niveau de l'eau, les coudes de la rivière ou de la route, les carrefours, etc.

Ces points, retrouvés sur deux photographies au moins, deviendraient alors autant de repères à l'aide desquels on pourrait orienter ces photographies pour les faire concourir simultanément à la construction du plan et, dans certains cas, quoique plus difficilement, au nivellement suivant la méthode générale que nous avons exposée.

En effet, sur chacune des feuilles qui ont servi à déterminer les repères, la projection du point de vue, c'est-à-dire de la station aérienne, se trouve rapportée elle-même en O_r (*fig.* 23 et *Pl. VIII, fig. b* et *c*), comme on le verra tout à l'heure.

Or, si sur l'une d'elles on relève, avec un papier à calquer, deux ou trois repères ou même davantage ainsi que la station, en plaçant ce calque sur l'autre feuille, on déterminerait immédiatement la position relative des deux stations.

Il y a là un fait assurément intéressant et peut-être assez inattendu à signaler, à savoir que les stations aériennes deviennent ainsi tout à fait indépendantes les unes des autres, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire de se préoccuper d'un moyen de les relier autrement entre elles comme on relie habituellement les stations terrestres par des mesures de

distances et d'angles, par des triangulations ou des cheminements, opérations d'ailleurs à peu près irréalisables dans la plupart des circonstances supposées ([1]).

L'économie de cette méthode dépend toutefois de la précision des données que les progrès des instruments spéciaux rendront sans doute de plus en plus grande.

Pour faire apprécier sa praticabilité qui n'est pas toujours très facile, il faut bien en convenir, nous allons prendre un exemple en partant des données relatives à une photographie obtenue par M. A. Batut à l'aide de son cerf-volant.

En se reportant aux *fig. b* et *c* (*Pl. VIII*), dont la première représente les constructions préparatoires effectuées dans le plan principal et la seconde le plan sur lequel on restituera quelques-uns des points de la perspective, et en conservant les notations précédentes, le cerf-volant ayant été élevé à 90^m de hauteur et son inclinaison sur la verticale évaluée à 33°, enfin la distance focale de la chambre noire étant de $0^m,166$; on a donc

$$\alpha = 33^\circ, \qquad OP = 0^m,166 \qquad \text{et} \qquad H = 90^m.$$

Si l'on convient maintenant d'adopter pour le plan l'échelle de $\frac{1}{2000}$ et en réduisant encore les figures de moitié, on aura

$$OP = 0^m,083 \qquad \text{et} \qquad h = \frac{90^m}{2 \times 2000} = 0^m,0225.$$

Pour obtenir la ligne d'horizon sur la photographie, on n'aura, en général, qu'à s'arranger de manière à retrouver facilement le point principal P de la perspective (qui devrait être exactement au centre de la plaque, mais qui peut être vérifié d'après des vues prises à terre et sur tableau vertical), pourvu que l'on ait en même temps l'inclinaison du tableau.

Les constructions préliminaires étant effectuées sur la *fig. b*

([1]) On sait que les stations terrestres deviennent également indépendantes les unes des autres quand on emploie la méthode des recoupements avec laquelle celle que l'on vient d'indiquer n'a cependant qu'une analogie assez éloignée, car la première suppose les points de repère déjà déterminés à l'aide d'une triangulation ou d'un cheminement.

(*Pl. VIII*), graphiquement ou à l'aide des éléments calculés, soient LH la ligne d'horizon sur le plan (*Pl. VIII, fig. c*), LT la ligne de terre tracée parallèlement à LH, à la distance $MM' = h$, sur la ligne correspondant à la médiane de la photographie; les distances MI, OM et O'M' sont rapportées sur cette médiane et déterminent les points I, O_r et O'_r.

La ligne de terre étant une charnière, les points tels que *b* situés sur cette ligne appartiennent à la fois à la perspective et au plan.

Considérons maintenant un point *a* de la perspective situé au-dessous de la ligne de terre; pour obtenir le point correspondant du plan, il suffira, d'après ce qu'on a vu plus haut, de mener d'abord I*a* prolongée jusqu'à la ligne de terre en *a'*, puis de mener $O_r a$ et enfin de joindre *a'* à O'_r, l'intersection de $O_r a$ et de $O'_r a'$ sera le point A cherché.

Si nous considérions un autre point *c* situé au-dessus de la ligne de terre, la même construction servirait à obtenir le point C du plan. On remarquera seulement que, dans le premier cas, l'intersection A se fait en deçà du point *a* de la perspective et que, dans le second, elle se fait au delà du point *c*. Une autre remarque importante et de laquelle il résulte qu'on aurait de la peine à tracer complètement, d'après la perspective unique dont il s'agit, les bords d'un cours d'eau sur toute leur étendue, c'est que les angles sous lesquels se rencontrent les lignes de construction sont généralement très aigus.

Nous avons choisi l'exemple précédent, c'est-à-dire le cas d'une station située à 90^{m} au-dessus du sol, parce que cette hauteur dépasse déjà celle des monuments les plus élevés, à très peu d'exceptions près, sur lesquels on pourrait songer à s'installer pour faire une reconnaissance rapide à l'aide de la Photographie sur des tableaux verticaux ou inclinés, mais les escarpements et les falaises peuvent atteindre souvent plusieurs centaines de mètres et avec les ballons captifs ou libres et même avec des cerfs-volants on peut s'élever ou élever des appareils beaucoup plus haut et modifier avantageusement les conditions précédentes, car alors, les points O_r et O'_r s'éloignant

l'un de l'autre, les lignes de construction se rencontreraient sous des angles moins aigus et la précision deviendrait plus grande.

Il existe déjà un grand nombre de vues photographiées prises en ballon, à des hauteurs qui ont varié de 200^m à 1000^m et au delà, sur lesquelles on aurait pu essayer des restitutions si l'on avait pris seulement la peine, la distance focale étant toujours supposée connue, de bien déterminer, chaque fois, la hauteur de la nacelle et l'inclinaison de l'axe optique de l'appareil.

Nous avons cherché, dans les explications qui précèdent, à démontrer la possibilité de tirer encore un meilleur parti de documents déjà très intéressants par eux-mêmes et qui ne cessent de se multiplier chaque jour.

VII. — *Limitation de l'emploi des vues aériennes.*

Nous terminerons ces considérations que nous n'avons pas craint de développer, précisément à cause de l'emploi fréquent de la Photographie dans des stations élevées, aériennes ou terrestres, et parce que les images ainsi obtenues jouissent de propriétés très précieuses qui ne sauraient échapper à personne, en appelant l'attention sur les limites du champ efficace des épreuves qui dépendent toujours nécessairement de la hauteur de la station.

Nous nous bornerons d'ailleurs à examiner les deux cas extrêmes des épreuves obtenues sur un tableau horizontal (en ballon) ou sur un tableau vertical (en ballon ou du sommet d'une station assez élevée), celui des épreuves sur un tableau plus ou moins incliné (en ballon ou d'un cerf-volant) pouvant être considéré sous ce rapport comme se confondant avec le dernier.

Tableau horizontal. — Le cas de l'épreuve sur un tableau horizontal est très simple. En effet, le champ angulaire de l'appareil étant supposé constant, la surface du terrain représenté est proportionnelle au carré de la hauteur. Par exemple,

si cette hauteur est de 500^m et que le champ angulaire soit de 90°, il est aisé de voir que chacun des côtés de l'épreuve correspondra à une distance de 1000^m mesurée sur le terrain et, par conséquent, la surface représentée sera de 100 hectares. Si le même appareil est élevé de 1000^m, cette surface sera de 400 hectares, etc. D'un autre côté, quand le terrain est peu accidenté, on reconnaît immédiatement que l'image n'est autre chose que le plan de ce terrain à une échelle qui est donnée par le rapport de la distance focale de l'objectif à la hauteur de l'appareil au-dessus du sol.

Nous donnons comme exemple (*fig.* 24) la photographie du pont Louis-Philippe sur la Seine, allant de l'île Saint-Louis au quai de l'Hôtel-de-Ville, prise en ballon monté par MM. G. Tissandier et Ducom le 19 juin 1885, de 600^m de hauteur, avec un objectif de Français d'environ $0^m,40$ de distance focale, et nous en rapprochons (*fig.* 25) un extrait du plan parcellaire de Paris ramené à la même échelle.

Tableau vertical. — Supposons une station de 500^m de hauteur et une distance du point de vue au tableau de $0^m,15$ et cherchons les effets de la transformation de la perspective selon la distance des points considérés à la station.

Nous admettrons encore que le terrain au-dessus duquel on a pris la photographie est une plaine horizontale indéfinie et, sans nous préoccuper du champ angulaire de l'objectif employé, en renversant le problème, de la station O comme centre, décrivons sur la feuille de dessin, à l'échelle de $\frac{1}{20000}$ par exemple, des arcs de cercle concentriques avec des rayons de 500^m, de 1000^m, de 1500^m, de 2000^m, de 2500^m et de 3000^m, les perspectives de ces arcs de cercle sur un tableau vertical seront des arcs d'hyperbole ayant leurs sommets sur la trace du plan principal (*Pl. VIII, fig. a*).

En déterminant ces courbes par points par une construction inverse de celle de la page 75, on reconnaîtra que l'on peut, dans les conditions supposées, compter sur un degré suffisant d'exactitude jusqu'à 6° ou 7° de part et d'autre du plan principal, et la figure montre aussi que les points de la perspective plus rapprochés de ce plan s'obtiennent aisément à l'aide du

rabattement des plans verticaux qui les contiennent; on pourrait continuer la construction pour des points situés au delà

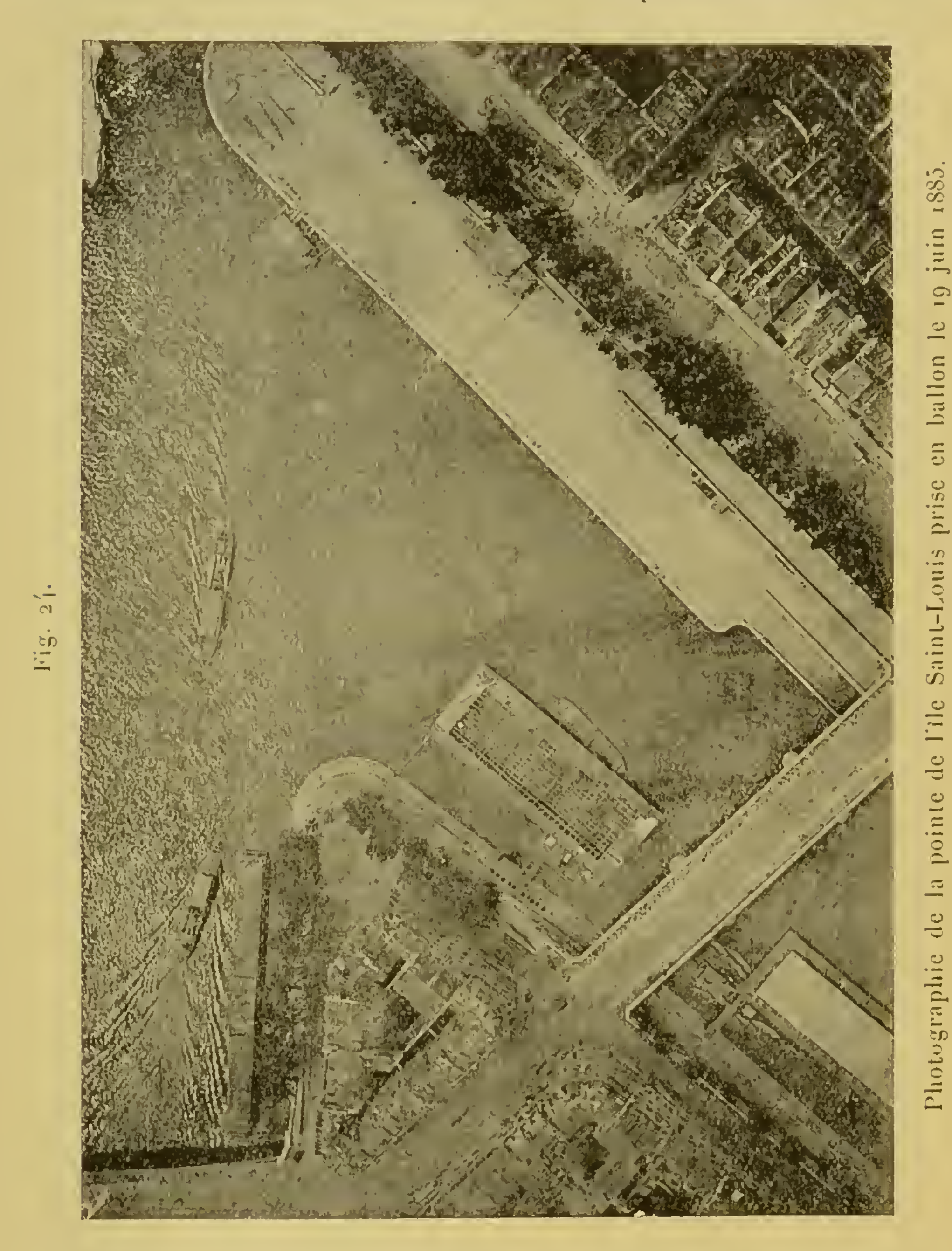


Fig. 24.

Photographie de la pointe de l'île Saint-Louis prise en ballon le 19 juin 1885.

de la distance de 3^{km} à laquelle nous nous sommes arrêté, mais les six courbes que nous avons tracées montrent que l'éloignement se traduit par une contraction qui devient déjà très sensible pour les points situés entre 2^{km} et 3^{km}.

La détermination des points de plus en plus éloignés devient donc nécessairement incertaine et l'on conçoit que, selon les

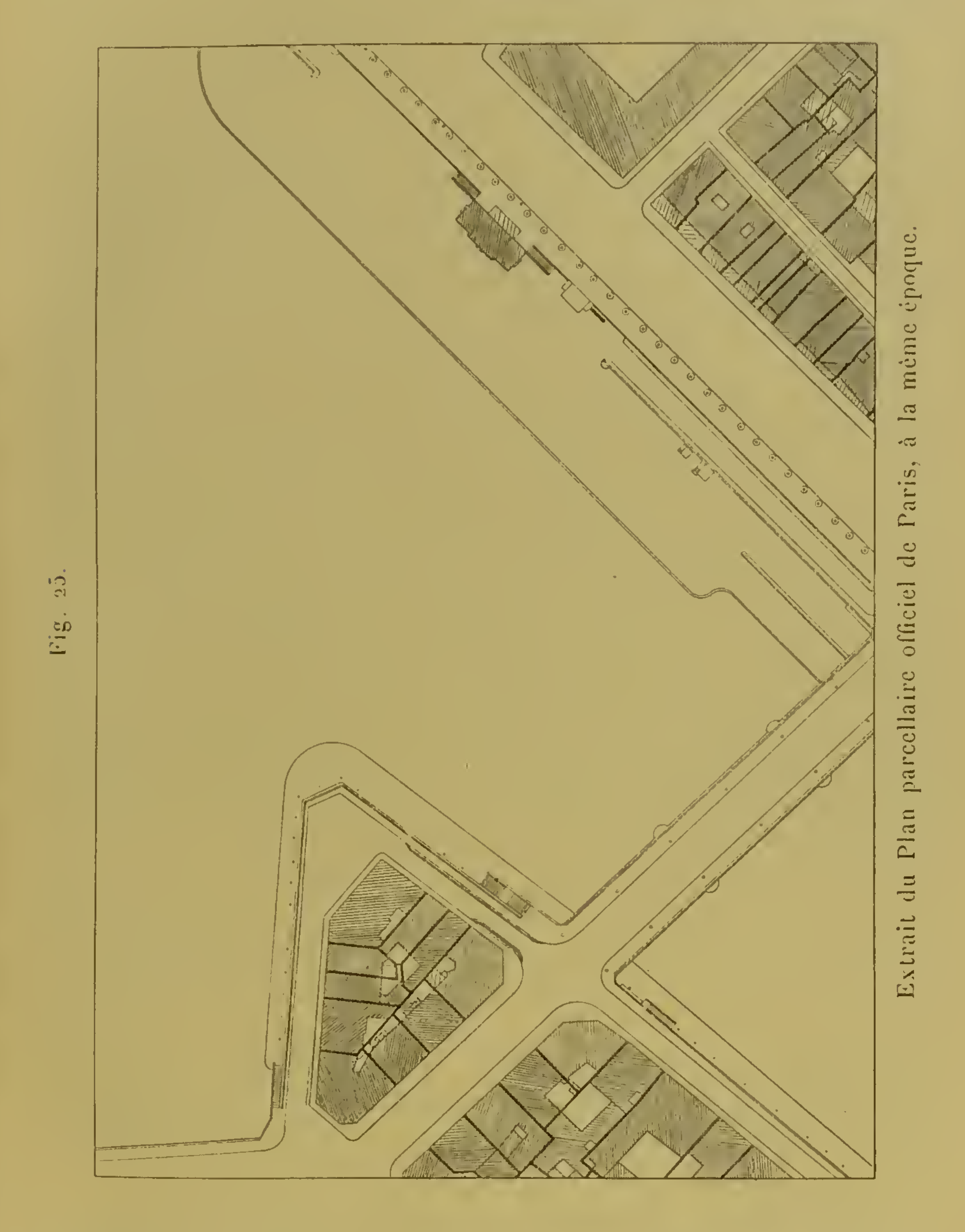


Fig. 25.

Extrait du Plan parcellaire officiel de Paris, à la même époque.

données du problème, on serait conduit à adopter des limites plus ou moins étroites au delà desquelles on devrait renoncer à opérer des transformations immédiates.

On ne saurait donc songer à utiliser cette méthode autre-

ment que pour déterminer un petit nombre de points assez rapprochés et pris dans la plaine à partir de laquelle la hauteur de la station est mesurée.

Après avoir ainsi mis en garde contre les illusions que l'on pourrait se faire sur les propriétés des épreuves photographiques prises de stations aériennes ou de stations terrestres élevées considérées isolément, nous n'hésitons pas à affirmer que, si l'on parvenait à relier entre elles deux ou plusieurs stations d'où l'on aurait découvert le même terrain, par des procédés trigonométriques ou par celui que nous avons indiqué ci-dessus, comme on se retrouverait dans les conditions ordinaires, les restitutions par la méthode des intersections pourraient être tentées avec succès. Alors, en effet, quelle que soit la distance d'un point bien défini sur les deux épreuves que l'on combine, l'exactitude de la détermination ne dépend plus que de la grandeur de la base, c'est-à-dire de la distance horizontale des deux stations et de l'angle sous lequel se rencontrent les projections des rayons visuels.

En ce qui concerne le nivellement, il serait nécessaire, dans certains cas, de tenir compte de la courbure de la Terre, mais on ne s'en préoccupe généralement pas et c'est un motif pour que, dans les levers où l'on vise à une certaine exactitude, on doive renoncer à chercher les cotes des points les plus éloignés.

VIII. — *Reconnaissances faites à d'assez grandes distances.*

Amplification des images. — Même en négligeant la courbure de la Terre, les trop grandes distances ont l'inconvénient d'altérer la précision du nivellement. En effet, les hauteurs apparentes linéaires positives ou négatives des points choisis sur l'une des épreuves sont les éléments qui servent à calculer les différences de niveau. Or l'évaluation de ces longueurs, d'une part, ne se fait qu'avec une approximation d'un dixième de millimètre tout au plus et le tracé de la ligne d'horizon est lui-même entaché d'une incertitude du même ordre; les

erreurs qui en résultent croissent avec la distance des objets considérés et décroissent proportionnellement à la distance du point de vue au tableau et à la grandeur de l'échelle adoptée pour le plan.

La grandeur de cette échelle étant déterminée par des considérations sur lesquelles il ne saurait être question de revenir, c'est seulement en augmentant directement ou indirectement la distance du point de vue au tableau que l'on peut accroître la précision du nivellement ou celle de l'évaluation des distances de signaux dont on connaît les dimensions.

Avec la chambre claire et un point de vue situé, par conséquent, déjà au moins à $0^m,30$ du tableau, pour des points éloignés tels, en général, que les rayons visuels s'écartent peu de l'horizon, on peut obtenir pour le nivellement une assez grande exactitude en se servant d'une lunette disposée au devant du prisme de l'instrument.

Nous n'entrerons, en ce moment, dans aucun détail relativement à la manière de disposer la lunette; pour l'explication que nous voulons donner, il suffira de savoir que les faisceaux de rayons lumineux qui émergent à travers l'oculaire peuvent être réfléchis à l'intérieur du prisme avant d'entrer dans l'œil de l'observateur et que celui-ci voit alors se peindre sur la planchette des images dont les dimensions, comparées à celles qu'il dessinerait avec le prisme seul, se trouvent amplifiées dans un rapport qui est précisément ce que l'on nomme le *grossissement* de la lunette.

Désignons par G ce grossissement qui varie, pour un même instrument, avec l'observateur (¹) et que chacun doit déterminer par une expérience directe. Supposons que la lunette porte une croisée de fils à son foyer et que l'on ait tracé sur la planchette la ligne d'horizon et le point principal (²); on

---

(¹) Le grossissement varierait aussi avec la distance des objets, mais ceux que nous considérons sont toujours assez éloignés pour que leurs images viennent se former au foyer principal de l'objectif. Pour un même observateur G est donc constant.

Tout ce qui est indiqué ici sur l'emploi d'une lunette associée à la chambre claire est extrait du Mémoire publié en 1854.

(²) *Voyez* plus loin le paragraphe consacré aux *Instruments* et en particulier à la *Chambre claire*.

pourra faire coïncider l'axe optique de la lunette avec le rayon principal, en projetant, *par un mouvement de rappel*, l'image de la croisée des fils sur le point principal; on fera en même temps en sorte que l'image du fil horizontal de la lunette se projette sur la ligne d'horizon, et les choses étant ainsi disposées, si le point considéré est dans le champ de la lunette ou peut y être amené, l'angle qui mesure l'inclinaison du rayon visuel dirigé sur ce point étant amplifié proportionnellement au grossissement, l'erreur graphique dont il a été question se trouvera diminuée dans le même rapport.

Soient D la distance horizontale du point considéré à la station, d la distance du point de vue au tableau, H la différence de niveau cherchée du point de vue et du point considéré; enfin h la distance de la perspective de ce point à la ligne d'horizon, lorsqu'on observe avec le prisme seul; le nivellement sera donné par la formule $\mathrm{H} = \frac{\mathrm{D}}{d} \times h$; mais, quand on emploie une lunette dont le grossissement est G, les autres quantités restant les mêmes, au lieu de h on trouve sur le tableau $h' = h \times \mathrm{G}$ (c'est comme si la distance du point de vue au tableau avait été augmentée dans le même rapport). Or, l'erreur à craindre étant la même sur h et sur h', quand on divisera h' par G, cette erreur sera divisée par le même nombre. Si l'on emploie, par exemple, une lunette qui grossisse dix fois, une erreur qui, à une certaine distance, pourrait atteindre $0^{m},50$, si l'on opérait avec le prisme seul, se trouvera réduite à $0^{m},05$.

Cet usage de la lunette se trouve restreint par la condition que nous nous sommes imposée plus haut, surtout quand on opère sur des objets situés à des distances modérées, mais il suffit alors de ne pas employer de forts grossissements pour ne pas trop réduire le champ de la lunette qui lui est inversement proportionnel; en général, quand on opère sur des objets éloignés, il y a, au contraire, avantage à employer d'assez forts grossissements, ces objets restant encore apparents dans le champ réduit.

D'un autre côté, ainsi que nous l'avons fait pressentir, les images amplifiées peuvent devenir elles-mêmes de précieux

éléments de reconnaissance. Pour nous en tenir actuellement à l'une des applications les plus utiles que l'on puisse faire couramment de ce système, nous allons montrer comment il sert à mesurer directement d'assez grandes distances topographiques avec un degré d'approximation suffisant.

Si l'on mesure, en effet, sur le plan du tableau, la longueur l de l'image d'une ligne verticale dont on connaît la vraie longueur L, image que nous supposons amenée dans le plan principal de la perspective; D désignant la distance horizontale cherchée du point de vue à l'objet et d la distance du point de vue au tableau, on aura $D = \frac{L}{l} \times d$; mais l est généralement très petit et D ne serait ainsi obtenu que très inexactement. Si l'on interpose actuellement la lunette en la dirigeant sur l'objet considéré, le prisme suivant le mouvement de la lunette, le champ de celle-ci ne cessera pas d'être représenté sur la planchette par un cercle lumineux, vers le centre duquel on pourra amener l'image amplifiée de l'objet, et, au lieu de la longueur l, on trouvera pour cette image $l' = l \times G$, c'est-à-dire que l'erreur à craindre sera encore divisée par G. Ainsi supposons un signal de 10^{m} de hauteur placé à une station dont on cherche la distance D, la distance du point de vue au tableau étant de $0^{m},30$; supposons encore que l'image du signal amenée dans le plan principal de la perspective et mesurée sur le tableau paraisse avoir $0^{m},01$ de longueur; on en conclurait que la distance D est égale à $\frac{10}{0,01} \times 0^{m},30 = 300^{m}$, mais une incertitude de $0^{m},0005$ sur la mesure de l entraînerait une erreur de 15^{m} en plus ou en moins; au lieu qu'avec une lunette grossissant dix fois, l'image paraissant avoir $0^{m},10$ pour une erreur de $0^{m},001$ avec cette dernière dimension, la mesure serait évaluée à $\frac{1}{100}$ près.

L'approximation est d'ailleurs proportionnelle à la grandeur des signaux et en raison inverse des distances à mesurer.

Signaux naturels. — Dans les lieux habités, il existe presque toujours sur les édifices qui font partie des panoramas des lignes verticales, plus ou moins importantes, dont on peut

estimer les dimensions, des portes, des fenêtres, des hauteurs d'étages entre deux bandeaux, des chaînes composées d'assises de pierre ou de briques dont on connaît l'épaisseur et qui peuvent être utilisées comme signaux, à la condition de ne pas trop s'en éloigner; les monuments élevés comme la flèche d'un clocher dont on connaîtrait la hauteur au-dessus d'une ligne architecturale bien définie peuvent servir en quelque sorte de mire permanente, de *stadia* dans les reconnaissances rapides faites autour d'une ville. Enfin, tous ceux qui ont pratiqué ces sortes de reconnaissances savent également le parti que l'on peut tirer des autres signaux naturels, comme des arbres à tiges droites et élevées, peupliers, ifs par exemple, des cheminées d'usine, des poteaux télégraphiques, etc., dont la hauteur habituelle est connue ou peut être évaluée facilement. Quand ces signaux se trouvent représentés sur des vues dessinées ou photographiées, prises dans des conditions convenables, leurs images rendent à plus forte raison les mêmes services et l'on peut se dispenser d'entrer dans de plus grands détails à leur sujet.

Il est à peine nécessaire d'ajouter que la précision que l'on obtient en recourant aux photographies est plus grande que celle que peut atteindre le dessinateur le plus exercé avec la chambre claire, et les agrandissements, que l'on effectue désormais avec tant de perfection, de bons clichés sur verre, peuvent être comparés, dans une certaine mesure, aux grossissements modérés des lunettes, comme ceux auxquels nous avons fait allusion un peu plus haut. Mais on obtient actuellement, avec les appareils spéciaux de la *Téléphotographie* que nous mentionnerons dans le Chapitre suivant, des images directes de grandes dimensions sur lesquelles on opère dans des conditions encore plus avantageuses.

Nous terminerons ce paragraphe par un exemple qui remonte, comme celui que nous avons déjà donné, à propos de la restitution du plan de l'un des côtés du fort de Vincennes, à l'année 1850, c'est-à-dire à cette même époque où nous nous efforcions d'appeler l'attention sur toutes les propriétés des vues pittoresques et leurs applications à la Topographie expéditive.

La figure suivante (*fig.* 26) représente le sommet du donjon de Vincennes, vu de la station B (*fig.* 19) dans le *champ d'une lunette* qui avait un grossissement de quatre fois seule-

Fig. 26.



Champ de lunette du donjon de Vincennes.

ment, dessiné en même temps que les vues de la *fig.* 19 qui sont elles-mêmes réduites, il ne faut pas l'oublier, si l'on vient à comparer les grandeurs des mêmes objets, par exemple le diamètre de la tour qui vient en avant, dans le champ de la lunette (*fig.* 26) et sur la vue *bb* (*fig.* 19).

Voici comment nous avions évalué approximativement la distance de la station au centre de la tour du donjon :

Le grossissement de la lunette étant 4 et la distance du point de vue au tableau ayant été dans ce cas de $0^m,25$ (réduite sur la *fig.* 19 à $0^m,071$), si l'on admet que le parapet du haut de la tour ait une hauteur de $1^m,30$, comme on trouve

sa hauteur apparente mesurée sur la *fig.* 19 égale à $4^{mm},5$, en divisant cette quantité par 4 pour la ramener à ce qu'elle serait sans le grossissement, on trouve $1^{mm},125$ et l'on a la proportion

$$1^{m},30 : 1^{mm},125 :: x : 0^{m},25$$

(x étant la distance cherchée de la station à la tour du donjon), d'où

$$x = 289^{m}.$$

Sur le plan de la *fig.* 19 on trouve $x = 280^{m}$; l'erreur commise est donc de $\frac{1}{30}$; mais il n'y a là rien de surprenant, car la hauteur du parapet, déjà bien faible pour servir de stadia, n'était pas rigoureusement connue et l'évaluation de la grandeur de son image était elle-même imparfaite.

Cette expérience improvisée ne doit être considérée d'ailleurs que comme une indication de la marche à suivre, et, si nous l'avons citée de préférence à d'autres plus précises, c'est parce que la figure sur laquelle elle a été faite est une sorte de pièce à conviction vis-à-vis de ceux qui ont voulu s'approprier une idée dont ils n'avaient même pas aperçu la véritable portée (1).

La petite lunette de faible grossissement que nous employions dans les reconnaissances rapides faites en voyageant

(1) Cette figure, dessinée en 1850, avait été publiée dans le *Magasin pittoresque,* année 1861; en 1868, un architecte distingué de Nîmes, M. Revoil, ayant eu, à son tour, l'idée fort naturelle d'adapter la chambre claire à une lunette, mais simplement pour dessiner et sans aucune préoccupation de se servir de ses images pour mesurer les distances, apporta à Paris ce qu'il croyait être une invention. En ma qualité de professeur à l'École Polytechnique, et sur l'invitation du général Favé, aide-de-camp de l'empereur, qui commandait l'École, je fus appelé à donner mon avis sur la valeur scientifique et pratique d'une idée qui n'avait absolument rien de neuf, car, depuis la découverte de la chambre claire par Wollaston, cet ingénieux petit instrument avait été immédiatement associé au télescope et au microscope, en Angleterre d'abord et un peu partout ensuite.

M. Revoil était venu à mon observatoire de l'École Polytechnique avec son illustre confrère et ami Viollet-le-Duc. Je fis à ces messieurs l'accueil le plus courtois, tout en les prévenant de la nécessité où j'étais de les désillusionner. Je leur expliquai ce qui avait été fait depuis si longtemps et, après m'être assuré que M. Revoil n'avait pas songé à faire autre chose que des images amplifiées, je leur montrai le passage du *Mémorial de l'Officier du Génie*, année 1854, où se trouve exposé le principe de l'ap-

s'adaptait très simplement à la planchette qui portait déjà la chambre claire, à l'aide d'une tige articulée munie d'une mâchoire, et comme nous ne nous occupons, en ce moment, que des méthodes, nous n'entrerons pas dans d'autres détails à ce sujet. Mais dans l'un des paragraphes suivants, où nous allons entreprendre la description des instruments, nous y reviendrons et nous donnerons celle de l'instrument que nous avons désigné sous le nom de *télémétrographe* (*voyez* la note précédente) et qui comporte l'emploi de lunettes terrestres dont le grossissement a été porté jusqu'à 65, dans les circonstances que nous rappellerons.

INSTRUMENTS.

THÉORIE, DESCRIPTION ET USAGE DE LA CHAMBRE CLAIRE.

IX. — *Historique de la découverte de la chambre claire.*

On sait que nous avons été amené à nous servir de la chambre claire pour exécuter des vues rigoureusement géométriques, au lieu de simples croquis approximatifs, dans le but de donner plus de précision à la méthode de Beautemps-Beaupré. Nous avons déjà montré, par les résultats des expériences faites devant le fort de Vincennes (*fig.* 19) et devant la forteresse du Mont-Valérien (*Pl. VII*), que ce but avait été atteint aussi complètement que possible.

Il nous reste à expliquer en quoi consiste l'instrument en

---

pareil destiné à mesurer les distances, et enfin la figure du *Magasin pittoresque*.

Mais ma consultation était inutile, dès qu'elle ne concluait pas à une approbation. Le siège de ces messieurs était fait et l'instrument (le premier exemplaire était destiné au Prince impérial) fut baptisé *téléiconographe*. Ce fut même ce qui me décida, à mon tour, usant de mon droit de paternité incontestable, en vertu des règles universellement adoptées de l'antériorité garantie par les publications imprimées, à appeler le mien du nom de *télémétrographe* qui indiquait clairement sa destination et avait en même temps l'avantage d'être un peu moins anguleux que celui de sa contrefaçon.

question, à faire connaître les modifications apportées à sa construction primitive pour en rendre l'usage à la fois plus sûr et plus commode, enfin à donner quelques détails sur la nature même des différentes opérations.

Nous commencerons naturellement par un historique de la découverte de ce merveilleux petit appareil qui avait remplacé si avantageusement, entre les mains des dessinateurs, l'antique chambre obscure, laquelle devait bientôt prendre sa revanche en supprimant le dessinateur lui-même.

La chambre claire a été inventée en 1804, par William-Hyde Wollaston. Le phénomène extrêmement simple qui avait mis l'illustre physicien anglais sur la voie de cette découverte se trouve exposé en ces termes, dans le Mémoire où il la fit connaître pour la première fois au public [1] :

« Lorsque je regarde directement et d'aplomb une feuille de papier sur une table, si je présente entre mon œil et le papier un morceau de verre plan, incliné à partir de moi et de haut en bas d'un angle de 45°, j'aperçois par réflexion la perspective qui me fait face, dans la même direction où je vois mon papier à travers le verre. Je puis donc alors tracer une esquisse de cette perspective ; seulement les images sont renversées [2]. »

Pour redresser les images, Wollaston fit subir aux rayons lumineux deux réflexions successives. A cet effet, il plaça au-dessous et en avant du verre transparent un morceau de glace étamée, et, en inclinant convenablement ces deux réflecteurs l'un sur l'autre, il parvint à voir, à travers celui qui était transparent, des images droites, à la même place où il les voyait d'abord renversées (*fig.* 27).

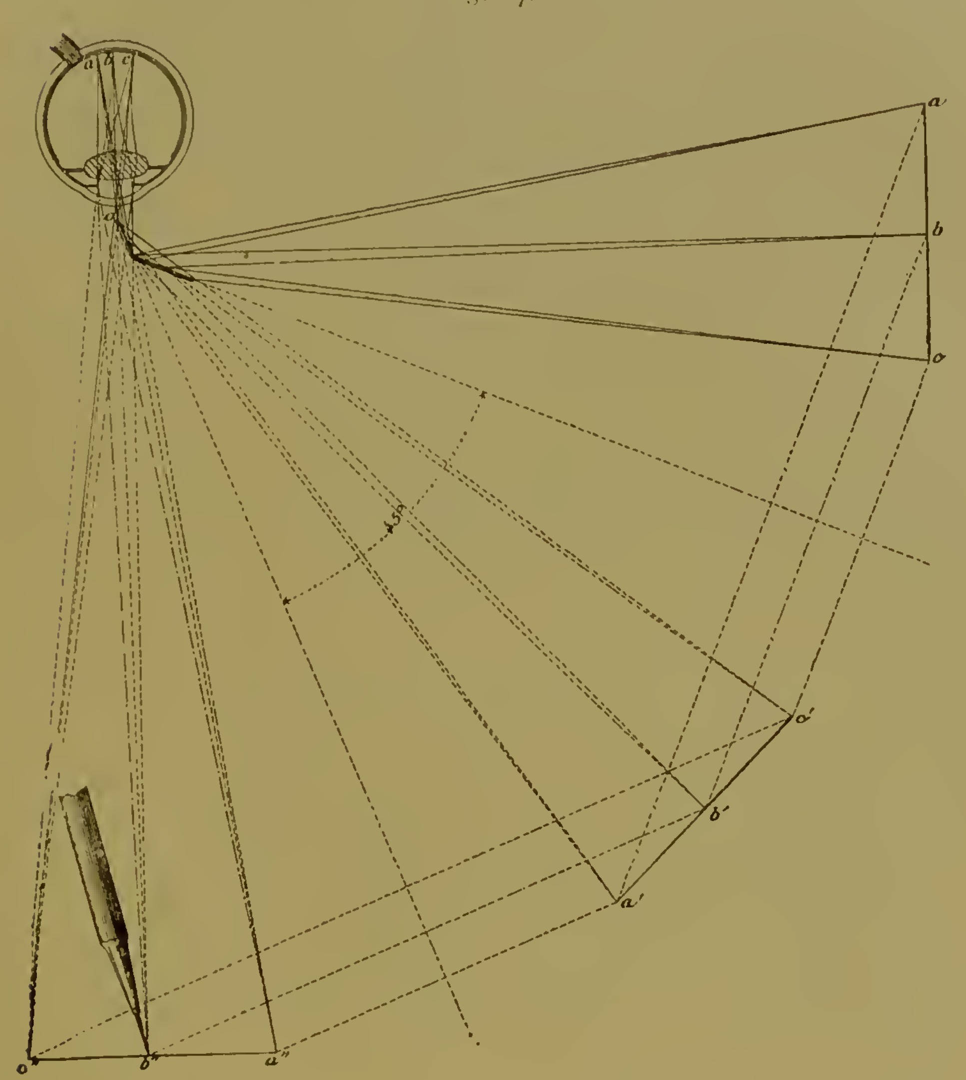
---

(1) *Description of the camera lucida*, by W.-H. Wollaston (*Philosophical Magazine*, t. XXVIII).

(2) Les instruments d'optique renversent les images de deux manières qui correspondent aux deux espèces de symétrie définies en Géométrie. Ainsi les images réelles formées dans la chambre obscure paraissent renversées à cause de leur position par rapport à l'observateur, mais elles restent semblables à l'objet (symétrie par rapport à un point), tandis que la réflexion sur les miroirs plans donne lieu à des images que l'on peut comparer à des contre-épreuves (symétrie par rapport à un plan) qu'il faut renverser une seconde fois pour les ramener à la similitude géométrique.

En général, l'objet ou les objets et le papier sur lequel on projette l'image, se trouvant à des distances très différentes, l'œil éprouve une fatigue qui résulte de ce que cet organe tend

Fig. 27.



à s'ajuster différemment pour chaque distance; cet inconvénient fut combattu, à son tour, au moyen d'une lentille convergente placée du côté du papier ou d'une lentille divergente disposée du côté de l'objet.

Enfin, aux deux petits réflecteurs dont le plus voisin de l'œil, qui était transparent, laissait perdre de la lumière, Wollaston substitua, en dernier lieu, un prisme à quatre faces sur deux

desquelles la lumière se réfléchit totalement ([1]), en vertu d'un principe bien connu de Physique; de sorte que les images vues dans ce dernier appareil ont la plus grande vivacité possible. A la vérité, il faut alors présenter très exactement l'œil au bord d'une arête du prisme pour recevoir la lumière réfléchie qui produit l'image, en même temps que la lumière directe qu'envoie le papier et qui ne peut plus passer à travers le second miroir, comme cela avait lieu précédemment; mais l'habitude fait bientôt surmonter l'espèce de difficulté qui en résulte, et les avantages que présente, d'ailleurs, la forme prismatique compensent bien ce faible inconvénient ([2]).

Telles sont les phases principales de la découverte de la chambre claire. Dans le Mémoire que nous avons cité et où elles sont décrites, on trouve, en outre, plusieurs observations importantes sur les propriétés de cet instrument et sur certaines particularités que présente sa mise en usage; mais le but que nous nous sommes proposé nous oblige à donner plus de développements à quelques-uns de ces différents sujets.

X. — *Du champ de l'instrument.*

Nous examinerons tout d'abord la question du champ de l'instrument.

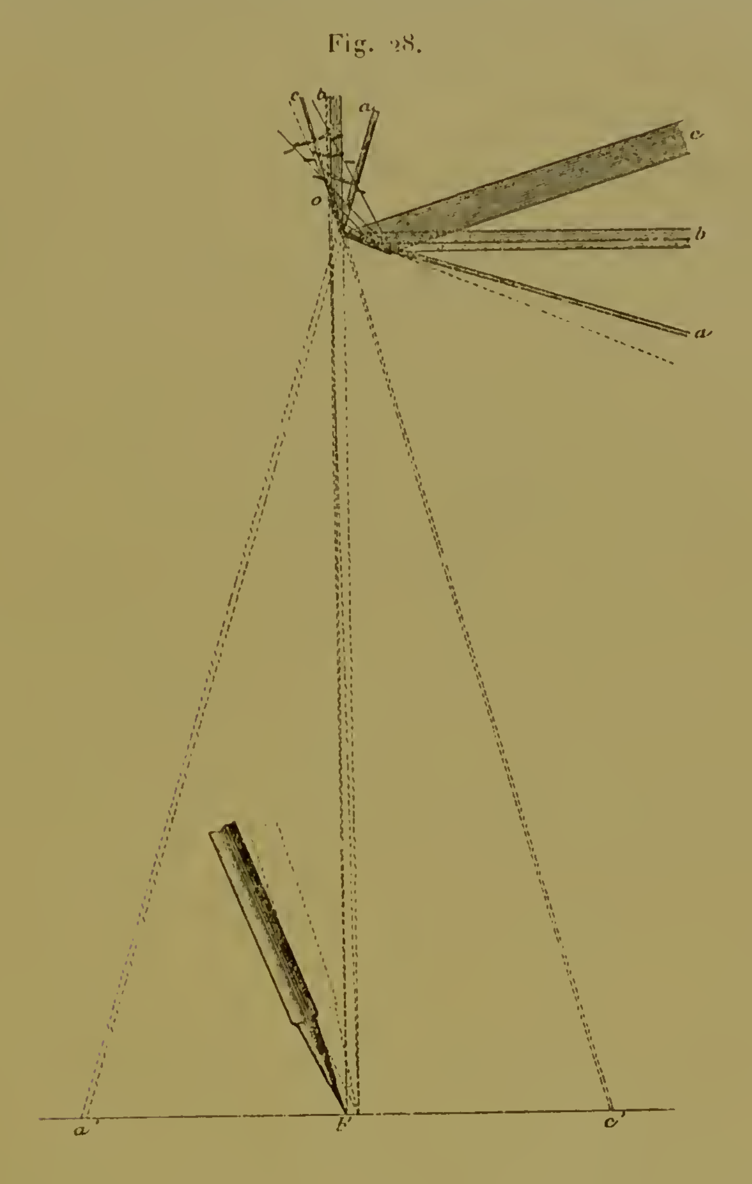
L'amplitude de ce champ exempt de toute déformation est considérable dans les deux sens vertical et horizontal, et c'est l'une des propriétés les plus précieuses de la chambre claire dont Wollaston n'avait pas eu à se préoccuper autant que nous.

([1]) Ces deux faces qui servent de miroirs forment un angle de 135°; les deux autres comprennent un angle droit et les angles aigus sous lesquels elles rencontrent les premières sont égaux et, par conséquent, de $67°\frac{1}{2}$ chacun.

([2]) Plusieurs autres dispositions que nous ne croyons pas devoir décrire ont été imaginées par divers physiciens. Quelques-unes d'entre elles sont utilisées en Micrographie et ailleurs, mais celle que nous avons adoptée, c'est-à-dire le prisme à quatre faces, est la seule qui convienne à notre objet.

Dans le sens vertical ([1]), cette amplitude semble, au premier abord, limitée au plus au supplément de l'angle de 135° que forment les plans des deux miroirs sur lesquels la lumière

Fig. 28.

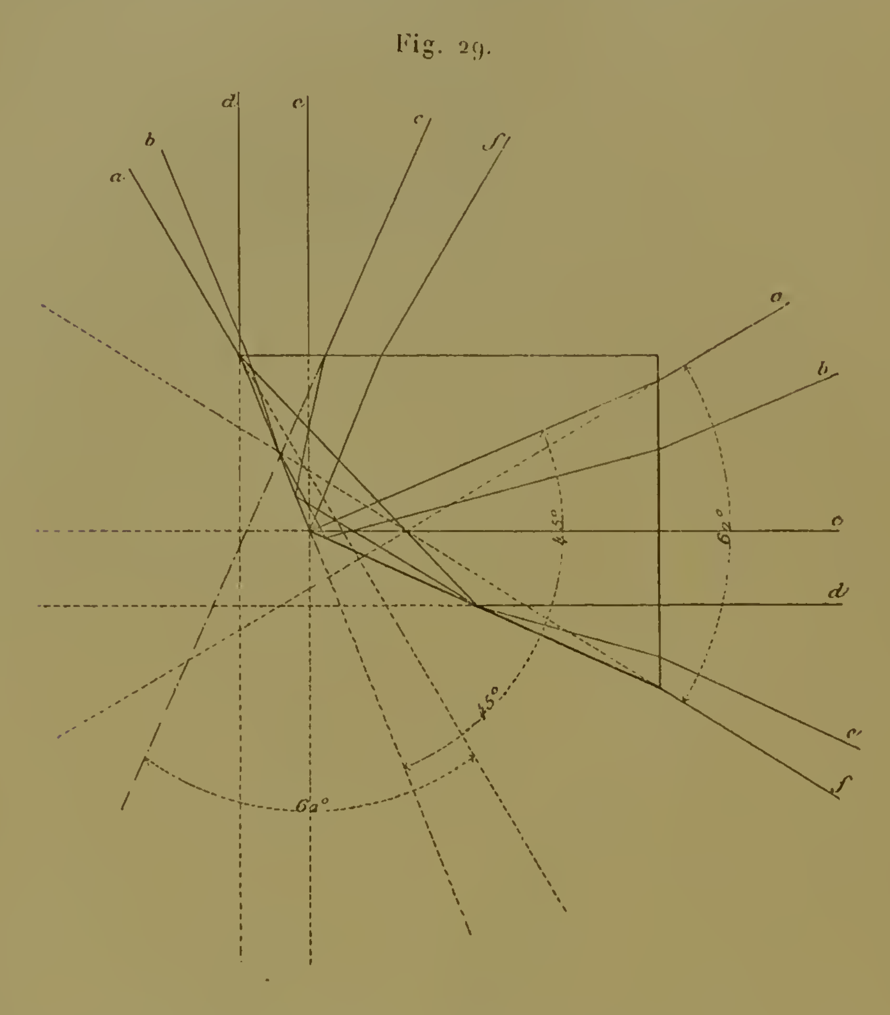


se réfléchit, c'est-à-dire à 45°; car si, en partant d'une incidence très faible sur le premier miroir (*fig.* 28), on considère les positions successives d'un rayon qui s'élèverait au-dessus de ce plan, on voit que, lorsqu'il atteint l'incidence de 45°, il se

([1]) On suppose le prisme ou plutôt l'arête commune des plans des deux miroirs parfaitement horizontale.

relève, après sa réflexion, parallèlement à la surface du second miroir et qu'il ne peut évidemment plus être réfléchi sur cette surface. Il convient même de remarquer que les faisceaux doublement réfléchis varient d'intensité suivant leur inclinai-

Fig. 29.



son sur l'un ou l'autre des miroirs, en approchant des directions extrêmes, d'où il résulte que les images ne présentent plus une clarté suffisante pour permettre à l'opérateur de les suivre facilement avec la pointe de son crayon. Cette manière de raisonner, qui s'applique au cas de la réflexion directe sur deux miroirs ordinaires, se trouve heureusement modifiée lorsqu'on emploie un prisme et que l'on y suit la marche de la lumière, en tenant compte de la réfraction qu'elle éprouve à l'entrée et à la sortie du verre. On reconnaît, en effet, que cette réfraction qui agit deux fois dans le même sens porte la

limite de l'amplitude, dans le sens vertical, de 45° à 62° environ (*fig.* 29).

Mais, d'ailleurs, quelle que soit la nature des surfaces réfléchissantes, cette amplitude peut croître indéfiniment si l'on vient à imprimer au système de ces surfaces un mouvement de rotation autour de leur intersection commune ou d'une ligne parallèle qui en soit très voisine. On sait, en effet, que *la direction d'un rayon lumineux qui a subi deux réflexions successives dans un plan perpendiculaire à ceux des miroirs fait avec sa première direction incidente un angle qui est le double de celui que comprennent ces miroirs* ([1]).

Si donc nous examinons seulement ce qui se passe dans un plan perpendiculaire aux arêtes du prisme dont nous prendrons l'une pour axe de rotation, les directions dans lesquelles on apercevra les images des points contenus dans ce plan ne dépendant que de l'angle des deux faces qui forment miroirs, et cet angle étant constant, ces directions seront elles-mêmes invariables et, par conséquent aussi, celles de tous les autres points qui ne sont pas situés dans le plan considéré.

Il résulte de là que, pendant le mouvement de rotation imprimé au prisme, l'image reste parfaitement immobile; seulement les différentes régions acquièrent successivement une plus grande clarté, en même temps que l'on en découvre sans cesse des parties qui étaient invisibles pour une position précédente, et que d'autres s'évanouissent. Le champ est donc réellement indéfini dans le sens vertical.

Dans le sens horizontal, ce champ est encore considérable, mais il est nécessairement limité par les positions extrêmes que l'œil doit prendre au-dessus de l'appareil pour admettre les faisceaux très inclinés. L'expérience montre qu'il ne faut pas compter sur plus de 65° à 70° pour son amplitude et nous avons même reconnu qu'il était préférable de ne pas dépasser habituellement 60°, à cause des erreurs auxquelles pourrait donner lieu un phénomène que nous allons étudier avec une attention particulière.

([1]) C'est le principe même du *sextant*.

XI. — *Phénomène de la parallaxe.*

Supposons qu'un plan perpendiculaire aux deux miroirs soit le plan principal d'une perspective dont le tableau serait placé en avant de l'appareil, à la distance de la vue distincte; d'après le principe invoqué ci-dessus, les rayons horizontaux contenus dans ce plan, devenant verticaux après leur double réflexion, il est évident que la feuille de papier sur laquelle on dessine remplace alors exactement le tableau dont nous venons d'indiquer la position fictive (voyez *Pl. IX, fig.* 1). Cette feuille de papier représente aussi le lieu exact où irait se former l'image virtuelle d'un objet placé à la distance de la vue distincte; par conséquent, l'œil de l'observateur pourrait se mouvoir au-dessus des miroirs sans qu'il en résultât le moindre changement dans la position apparente de cette image qui serait, en outre, de même grandeur que l'objet supposé, à la vérité, entièrement contenu dans un plan vertical. Ainsi la copie d'un dessin ne présenterait en pareil cas aucune difficulté.

Mais les choses ne se passent pas aussi simplement quand on considère des objets situés à toutes distances, comme ceux qui composent les paysages. Le moindre mouvement de l'observateur, le plus léger déplacement latéral de son œil au-dessus de l'appareil entraîne un déplacement semblable, une *parallaxe* de l'image qui deviendrait insaisissable pour la pointe du crayon, si l'on ne remédiait à ce défaut dû à la nature de l'instrument.

On parvient à limiter ce déplacement en se servant d'un diaphragme pratiqué dans la monture de l'appareil, et dont l'ouverture doit avoir au moins le diamètre de la pupille, afin de ne pas diminuer la clarté des images (1). Mais si la parallaxe est ainsi réduite, elle ne subsiste pas moins et rendrait l'exécution du dessin difficile et incorrecte.

---

(1) C'est également d'après le diamètre de la pupille que doit se régler la largeur de chacun des miroirs; l'examen des *fig.* 27, 28 et 29 fera suffisamment saisir ces rapports qui n'ont, d'ailleurs, rien d'absolu.

Avant d'indiquer le moyen de la faire disparaître, il convient de bien la définir, en mettant ses effets en évidence.

Si, par une ouverture circulaire pratiquée dans une lame opaque fixe, on regarde un objet plus ou moins éloigné, et que l'on vienne à interposer en avant de la lame, parallèlement à son plan, un écran transparent, un verre à glace, par exemple, dans les mouvements involontaires de l'œil, l'axe optique dirigé sur l'un des points de l'objet, au lieu de passer par le centre, pourra s'appuyer sur la circonférence du diaphragme et alors le rayon visuel percera le verre en un point d'autant plus distant de la trace du rayon central que l'objet sera plus éloigné et l'ouverture du diaphragme plus grande. Enfin, lorsque l'objet sera à une distance telle que l'on puisse considérer toutes les directions du rayon visuel comme parallèles, la parallaxe aura pour limite le diamètre même de l'ouverture.

L'écran transparent qui a servi à cette explication n'est autre chose que le tableau fictif de la perspective; ce qui se passerait à sa surface est donc précisément ce qu'on observe sur la feuille de papier de la chambre claire sur laquelle la pointe du crayon suit la trace du rayon visuel; et puisque l'ouverture du diaphragme placé au-dessus des miroirs doit avoir au moins le diamètre de la pupille, il s'ensuit que l'incertitude pour la position de chaque point de la perspective pourrait s'élever à plusieurs millimètres. De là, la nécessité de détruire entièrement la parallaxe, et, d'après la description de ses effets, on conçoit immédiatement que la meilleure manière d'y parvenir serait de ramener les images virtuelles des objets éloignés à se former à la distance de la vue distincte où se trouve déjà placé le tableau, c'est-à-dire le papier sur lequel on doit dessiner; telle serait aussi la condition la plus favorable pour faire cesser toute fatigue d'ajustement de l'œil dans l'emploi de la chambre claire.

XII. — *Chambre claire périscopique.*

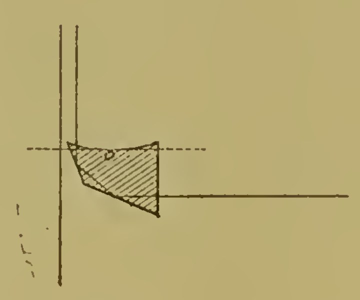
La première idée qui était venue à Wollaston pour atteindre ce but avait été de disposer une lentille concave en avant du

prisme, mais il ne s'en était pas tenu à ce moyen, et, en s'occupant de l'application, à divers instruments, des principes périscopiques dont il est l'inventeur, il avait été conduit à en proposer un autre qui est décrit dans le passage suivant de l'un de ses Mémoires (¹) :

« ... Comme un œil ajusté pour voir le papier et le crayon qui sont à une petite distance, ne peut voir distinctement (en même temps) les objets plus éloignés, sans l'emploi d'un verre concave, on peut l'aider sous ce rapport, en donnant un degré convenable de concavité à l'une ou à l'autre des surfaces de transmission du prisme ou à toutes les deux. Toutefois, c'est à la surface supérieure seulement que l'on donne cette concavité; l'œil est alors placé du côté du centre de courbure, et il en reçoit tout l'avantage que l'on peut attendre des principes périscopiques. »

La chambre claire périscopique (*fig.* 30) ne paraissait pas avoir fixé jusqu'alors l'attention des opticiens. La manière dont

Fig. 30.



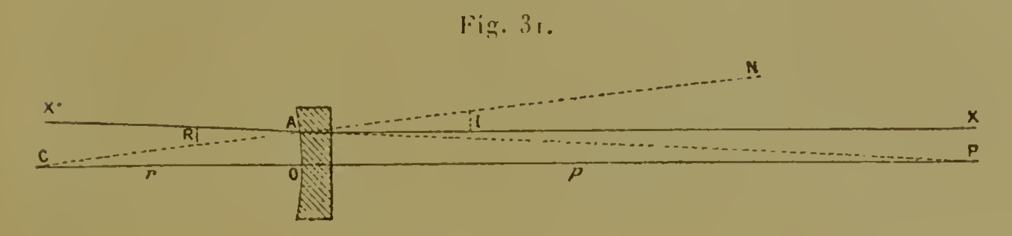
on parvient ainsi à faire disparaître la parallaxe, en même temps que l'on évite la fatigue d'une double adaptation de l'œil, est pourtant d'une simplicité remarquable. En étudiant encore d'un peu plus près la marche des rayons lumineux à travers le prisme et en modifiant en conséquence la forme indiquée par Wollaston, nous sommes enfin parvenu à une construction qui satisfait de la manière la plus complète aux conditions

(¹) *Philosophical Transactions*, 1812.

que nous nous étions imposées. Cette construction peut être présentée maintenant comme un simple corollaire des propriétés des lentilles plan-sphériques.

Considérons une lentille plan-concave (*fig.* 31); un faisceau de rayons parallèles, tombant normalement à la face plane; tra-

Fig. 31.



verse sans déviation l'épaisseur du verre et devient divergent à sa sortie dans l'air, après avoir rencontré la surface sphérique.

La position du foyer principal (virtuel) d'où les rayons semblent diverger dépend de l'indice de réfraction de la substance et du rayon de la surface sphérique. On sait, de plus, que ce foyer se trouve sur celui des rayons parallèles qui passe par le centre de la sphère, et l'on reconnaît aisément que le point où ce rayon perce la surface est le *centre optique* de la lentille; car il suffit, pour cela, de remarquer que les normales à la surface plane sont toutes parallèles entre elles et à l'axe de la lentille, et que, par conséquent, les lignes qui passent par le point dont il s'agit font toujours des angles égaux avec les normales aux deux surfaces; en d'autres termes, les rayons inclinés sur l'axe et passant par ce point, reprennent leur direction primitive, après avoir traversé la lentille, ce qui est la propriété caractéristique et la définition même du centre optique ([1]).

Il suit de là que la position de ce centre est indépendante du rayon de la surface sphérique et de l'épaisseur de la lentille. Soient donc p la distance du foyer principal au centre optique, r le rayon de la sphère, et l l'indice de réfraction de la substance dont est formée la lentille. Entre ces quatre

([1]) Nous conservons la théorie du centre optique à laquelle on a substitué, depuis quelque temps, celle des points nodaux de Gauss pour atteindre plus de précision dans l'étude des objectifs photographiques. Dans le cas actuel, la considération des points nodaux serait tout à fait superflue.

quantités on a la relation $r = p(l - 1)$ [1]. Or, sachant que pour le verre généralement employé on peut prendre $l = 1{,}50$, pour avoir le foyer principal à la distance ordinaire de la vue distincte, on fait $p = 0^m{,}30$ et l'on en conclut que $r = 0^m{,}15$.

Pour un œil placé du côté de la concavité d'une telle lentille, les rayons envoyés par des objets éloignés auront le même degré de divergence que s'ils venaient de points situés à la distance de $0^m{,}30$.

Cela posé, faisons observer que, dans leur passage à travers le prisme de la chambre claire, les rayons lumineux changent de direction en se réfléchissant sur les deux faces postérieures, mais qu'ils n'éprouvent pas d'autre altération, et que les faces d'entrée et de sortie agissent sur eux simplement à la manière de deux surfaces planes et parallèles; de sorte que, si à la face plane d'émergence on substitue une calotte sphérique de $0^m{,}15$ de rayon, tout se passera dans le nouveau prisme comme dans une lentille plan-concave dont le foyer serait aussi à $0^m{,}30$ du centre optique.

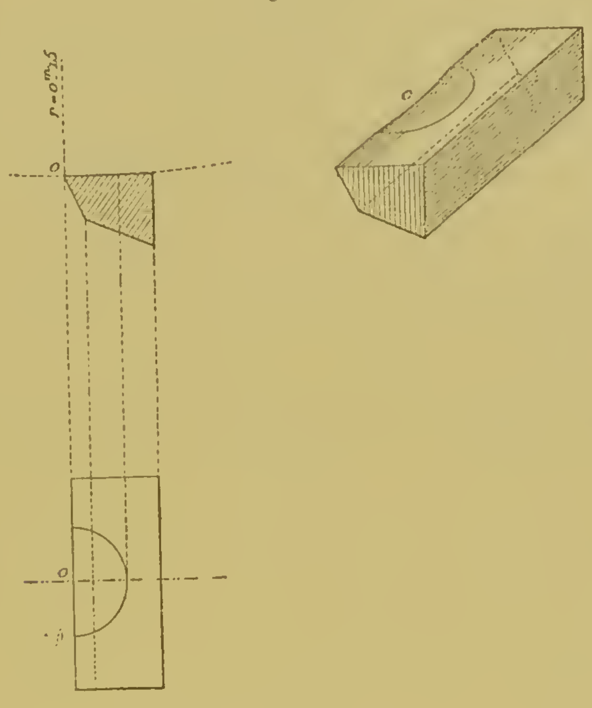
Chambre claire hémi-périscopique. — La position de ce centre est très importante à considérer. La note de Wollaston et la figure qui l'accompagne prouvent cependant que l'auteur ne s'y était pas arrêté, car, dans cette figure que nous avons reproduite (*fig.* 30), le centre optique est situé à peu près au hasard sur la surface concave, et, dans tous les cas, assez loin du bord de l'arête du prisme, près duquel l'observateur doit regarder dans l'appareil en même temps que sur la tablette où est posée la feuille de papier. Pour les opérations géométriques que nous nous proposions d'exécuter, il était nécessaire que ce point fût nettement défini et facile à retrouver sur le prisme; nous l'avons donc transporté sur l'arête près de laquelle on place l'œil en prenant le centre de la sphère

(1) Dans le triangle CAP (*fig.* 31), la somme des angles C et P est égale à l'angle extérieur R; I et C sont égaux comme correspondants; on a $R = C + P$. D'ailleurs, $R = lI = lC$, en prenant les arcs pour leurs sinus; donc $(l - 1)\,C = P$ et, en substituant actuellement les arcs aux tangentes, comme on a $C = \frac{AO}{r}$ et $P = \frac{AO}{p}$; $\frac{l-1}{r} = \frac{1}{p}$; d'où $r = p\,(l - 1)$.

qui entaille la face du prisme sur une perpendiculaire à cette face menée par un point de l'arête elle-même (*fig.* 32).

Cette position du centre optique présentait d'ailleurs les avantages suivants : en premier lieu, quand on regarde dans l'instrument, la pupille étant partagée en deux par l'arête du


Fig. 32.



prisme et l'axe optique de l'œil passant par le centre optique même de l'appareil, la vision devient aussi distincte que possible; l'observateur n'éprouve donc aucune fatigue; enfin, la parallaxe se trouvant entièrement détruite, les images peuvent être dessinées, dans toute l'étendue du champ, avec autant de facilité que s'il s'agissait de prendre un calque. Cette dernière observation a son intérêt, car, avec les lentilles concaves ou convexes que l'on adaptait aux anciennes chambres claires, les rayons trop obliques qui les traversaient produisaient des déformations sur les bords et les images perdaient leur netteté.

Ces résultats étant obtenus au moyen d'une demi-calotte sphérique, creusée dans la face supérieure du prisme, nous avons cru devoir désigner le nouvel appareil sous le nom de *chambre claire hémi-périscopique*.

XIII. — *Propriétés géométriques de l'appareil.*

Les propriétés géométriques de la chambre claire hémipériscopique sont à la fois très simples et très précieuses pour les applications auxquelles elle est destinée.

Dans tout ce qui va suivre, nous supposerons les arêtes du prisme parfaitement horizontales, sauf à expliquer un peu plus loin comment on réalise cette condition.

Les directions successives que prend l'axe optique de l'œil de l'opérateur, pendant qu'il suit les lignes de la perspective sur le papier avec la pointe de son crayon, sont les génératrices de la surface conique coupée par le tableau, et, malgré les déplacements de l'œil, le centre optique de l'appareil, en vertu des propriétés qu'on lui connaît, peut être considéré comme le sommet de cette surface, c'est-à-dire comme le *point de vue mathématique* de la perspective. Par conséquent, à la condition toutefois que tous les angles du prisme soient exacts, le rayon principal de la perspective naturelle suivra, après la double réflexion, la direction de la verticale menée par le centre optique. En projetant donc ce point sur la tablette horizontale qui porte la feuille de papier, cette dernière représentant le tableau, on aura le *point principal de la perspective* (voy. *Pl. IX, fig.* 5), au moyen duquel on trouvera aisément, comme nous le montrerons plus loin, la *ligne d'horizon*. Enfin, la longueur de la verticale, mesurée entre le centre optique et sa projection, étant la *distance du point de vue au tableau*, on comprend que l'on a, pour ainsi dire, sous la main tous les éléments nécessaires pour effectuer les constructions géométriques auxquelles se prêtent les perspectives, en suivant les méthodes indiquées précédemment.

Remarques complémentaires. — On voit encore qu'en prenant l'arête sur laquelle est placé le centre optique [1] pour axe de rotation du prisme pendant le mouvement qu'il peut

---

[1] Rigoureusement, il en est éloigné de la flèche de la calotte sphérique, mais cette quantité, toujours très petite par construction, est négligeable.

être nécessaire de lui imprimer pour accroître le champ vertical, l'invariabilité de position de ce centre, jointe à la propriété connue des deux miroirs, donnera réellement l'immobilité à l'image projetée sur la planchette; tandis que, si l'axe ne passait pas par ce point, la rotation entraînerait celui-ci et l'éloignerait ou le rapprocherait de la planchette, c'est-à-dire du tableau, ce qui dilaterait ou contracterait les parties de l'image que l'on découvrirait successivement.

La sphéricité de la surface d'émergence ne crée d'ailleurs aucune espèce d'aberration capable de produire des déformations dans les images. Il y a plus : quoique sa courbure soit calculée pour la distance ordinaire de la vue distincte, on peut rapprocher ou éloigner le prisme de la planchette dans des limites assez étendues sans que la parallaxe redevienne sensible (¹).

On trouverait l'explication de ce fait dans la forme des surfaces caustiques engendrées par les rayons de chaque faisceau, mais il suffit de l'énoncer ici comme un résultat de l'observation.

Inversement, si le prisme est fixé à $0^m,30$ au-dessus de la planchette, c'est-à-dire si l'on fait occuper à celle-ci le *plan focal principal,* il est également facile de constater que l'objet peut s'approcher beaucoup du prisme sans que la parallaxe devienne une cause d'erreur. Cependant, il y a une limite qu'il ne faudrait pas dépasser, et, si l'on voulait, par exemple, dessiner un objet situé à la même distance que le papier, copier un dessin, la théorie fait voir que la parallaxe deviendrait aussi considérable que lorsqu'on regarde des objets éloignés avec un prisme à faces planes. En définitive, la chambre claire hémi-périscopique est faite pour prendre des vues et peut servir à obtenir des réductions, mais elle ne convient ni pour copier ni pour amplifier des dessins (²). Dans ce dernier cas, le

(¹) On n'a généralement intérêt qu'à augmenter la distance du point de vue au tableau; à $0^m,45$, la parallaxe est encore très faible pour le rayon de $0^m,15$ donné à la calotte sphérique.

(²) Pour faire une copie de même grandeur que l'original, on devrait se servir de la partie du prisme qui n'est pas entaillée et au-dessus de laquelle on pourrait, à cet effet, pratiquer un autre diaphragme dans la monture.

mieux serait d'employer une construction particulière ou plus simplement de recourir à des jeux de lentilles, mais nous n'avons pas à nous en occuper dans ce Mémoire.

Ajoutons qu'avec le nouvel appareil, on n'éprouve ni difficulté, ni perte de temps pour la *mise au point,* comme cela peut arriver lorsqu'on corrige la parallaxe au moyen de lentilles qui ont des distances focales différentes. Enfin, et c'est un avantage sur lequel on ne saurait trop insister, la parallaxe reparaît à peine pour les directions les plus obliques qu'il est inutile d'employer, tandis qu'avec des verres lenticulaires placés nécessairement à une certaine distance de l'œil, il n'y a que le milieu du champ qui soit tout à fait à l'abri de ses effets, parce qu'alors les directions obliques vont toujours traverser l'épaisseur de la lentille assez loin de son centre.

XIV. — *Description et usage des différents organes de l'instrument.*

Le prisme dont se compose essentiellement la chambre claire doit pouvoir être disposé avec précision et maintenu d'une manière stable au-dessus de la planchette, sur laquelle est placée la feuille de papier à dessiner. A cet effet, il est renfermé dans une monture en laiton verni *aa* (*Pl. IX, fig.* 2, 3, 4 et 5), portée par deux tiges à tirage *bc*, *b′c′*, articulées en *d*, *d′*, *e*, *e′* et terminées à leur extrémité inférieure par des mâchoires à vis de pression *f*, que l'on peut fixer solidement aux deux bords opposés de la planchette.

Les articulations *d*, *d′*, *e*, *e′* permettent tous les mouvements d'allongement ou d'écartement des tiges, ainsi que les mouvements inverses, dans les limites nécessaires. Le jeu des premières *d*, *d′* sert encore à faire varier l'inclinaison des arêtes du prisme et à les ramener à l'horizontalité. Le niveau à bulle d'air AA et la vis de rappel *g* servent à guider et à achever cette opération ; les deux goujons à têtes molettées *h* et *h′* qui traversent les tiges et pénètrent dans la monture du prisme permettent d'imprimer à ce prisme un mouvement de rotation autour de l'arête qui passe par le centre optique ;

enfin, la pièce *k* qui forme fenêtre est mobile autour de la goupille *i* et donne la facilité d'introduire le prisme dans sa monture ou de l'en retirer pour enlever au besoin la poussière ou l'humidité qui se seraient déposées sur ses faces ([1]).

Mise en station de l'appareil. — Après avoir fixé les mâchoires à la planchette de manière que les tiges se trouvent exactement en face l'une de l'autre, précaution sans laquelle il pourrait y avoir un gauchissement nuisible à la manœuvre de l'instrument (on peut, au besoin, se servir de lignes de repères tracées sur les bords, comme celles que l'on voit sur la *Pl. IX, fig.* 5), on procédera, dans l'ordre suivant, aux opérations qui donnent les éléments de chaque perspective :

1° *Mettre de niveau la planchette et le prisme* (*Pl. IX, fig.* 2). — Ces deux opérations se font successivement, au moyen du niveau à bulle d'air AA; on cale la planchette comme à l'ordinaire et selon sa construction, qui doit être d'ailleurs la plus simple possible, puis on pose le niveau sur la surface supérieure du prisme dont les extrémités sont laissées à découvert dans la monture pour recevoir les talons *l, l'*, dont le niveau est armé. En agissant sur la vis de rappel *g*, on amène la bulle au milieu du tube, tantôt en pressant seulement avec le doigt sur la tête de la vis, tantôt en la faisant marcher dans son écrou. Le retournement du niveau dans cette position peut d'ailleurs servir à vérifier s'il est bien réglé lui-même ; on le rectifie, s'il y a lieu, en serrant ou desserrant la vis de correction dont il est muni.

2° *Déterminer le point principal de la perspective et la distance du point de vue au tableau* (*Pl. IX, fig.* 5). — On trouve très simplement le point principal en laissant tomber un fil à plomb qui rase l'arête du prisme au point même

(1) Le premier exemplaire de cet instrument a été construit par le célèbre artiste G. Froment; j'en ai fait don au Conservatoire des Arts et Métiers; mais le prisme, qui était un chef-d'œuvre de précision de l'habile opticien Bertaud jeune, a disparu à l'Exposition universelle de 1867 et a dû être remplacé par une pièce bien exécutée, quoique peut-être un peu moins parfaite.

où est situé le centre optique *o* (milieu de la partie apparente de l'arête à travers la monture), et en marquant sur le papier la trace P de la pointe S par laquelle se termine le fil à plomb de forme cylindro-conique.

On mesure ensuite directement la distance du point de vue au tableau, en plaçant l'extrémité d'une règle divisée marquée o sur le point principal et en approchant le bord qui porte les divisions du centre optique où l'on fait la lecture.

3° *Tracer la ligne d'horizon.* — Le point principal que l'on vient d'obtenir appartient déjà à la ligne d'horizon; pour achever de trouver celle-ci, on peut employer deux procédés différents :

(*a*). — Suspendre un fil à plomb à quelque distance en avant de l'instrument, quatre ou cinq mètres environ, attendre qu'il n'oscille plus, dessiner sur la planchette son image vue à travers le prisme, et, par le point principal, mener une perpendiculaire à cette image; cette perpendiculaire est évidemment la ligne d'horizon. Ce moyen est extrêmement simple, mais la moindre agitation de l'air peut en compromettre l'exactitude; le suivant, quoique un peu plus long, est donc préférable, dans la plupart des circonstances.

(*b*). — Après avoir examiné la perspective à travers le prisme, on choisit, à sa droite ou à sa gauche, mais du même côté, trois ou quatre points bien différents qu'on marque avec la pointe du crayon, en les désignant, si l'on veut, par une lettre ou par un chiffre, ou même en esquissant l'objet auquel appartient chacun d'eux (*Pl. IX*, *fig.* 5); du point principal comme centre, on décrit autant d'arcs de cercle passant par ces points; puis, en continuant à regarder dans la chambre claire, on fait tourner la planchette autour de son axe qui n'est jamais très excentrique par rapport au point principal, de gauche à droite ou de droite à gauche, suivant le cas, jusqu'à ce qu'on voie les images de chaque point passer successivement une seconde fois sur les arcs de cercle qui correspondent à leur première position, et l'on marque encore les points de passage; enfin on cherche les milieux de tous les arcs inter-

ceptés, par la méthode géométrique bien connue : ces points devront se trouver, si l'on a bien opéré, sur une même ligne droite qui passera en même temps par le point principal et qui sera alors la trace du plan principal de la perspective sur le plan du tableau. La perpendiculaire à cette droite menée par le point principal sera la ligne d'horizon.

Ce procédé et le principe sur lequel il est fondé sont faciles à saisir pour tous ceux qui ont fait de la gnomonique et employé la *méthode* dite *des hauteurs correspondantes du Soleil*, pour tracer une méridienne. Le plan principal dont on détermine la trace sur le plan du tableau joue, en effet, dans ce cas le même rôle que le plan du méridien dans l'autre opération [1].

Précaution à prendre pour faire un tour entier d'horizon. — Les éléments géométriques ainsi trouvés serviront pour toutes les perspectives que l'on voudra prendre d'une même station. Il suffira, avant de changer la première feuille de papier qui porte la trace du plan principal et la ligne d'horizon, de prolonger ces lignes et de les repérer sur les bords de la planchette, ce qui permettra de les reporter facilement sur les feuilles suivantes. On voit, de plus, que si le prisme était invariablement lié de position avec la planchette, les opéra-

---

[1] Le mouvement de la planchette entraînant le prisme dont l'orientation détermine celle du plan principal de la perspective, revient à la rotation de ce plan autour de la verticale du point de vue : la planchette ou, si l'on veut, le tableau, conservant d'ailleurs sa position par rapport au plan vertical. Pour étudier la courbe que l'image d'un point du paysage décrit sur le tableau, pendant cette rotation, on peut imaginer que le plan principal reste fixe et que le paysage est entraîné en sens contraire autour de la verticale du point de vue. C'est, du reste, l'illusion qui est produite à travers le prisme et cette substitution des mouvements apparents aux mouvements réels rend encore plus complète l'analogie que nous avons invoquée. Alors chaque rayon visuel, conservant nécessairement son inclinaison sur la verticale du point de vue, décrira autour de cette ligne un cône droit que le plan du tableau coupera suivant une courbe du second degré, comme le plan sur lequel on veut tracer une méridienne coupe le cône droit décrit dans le mouvement diurne par le rayon lumineux qui rase le sommet du gnomon. La construction que l'on emploie pour tracer la méridienne convient donc parfaitement à la détermination de la trace du plan principal.

tions que l'on vient de décrire n'auraient besoin d'être exécutées qu'une fois pour toutes; mais, afin de rendre l'instrument plus portatif, on a dû renoncer à cet avantage; seulement, au moyen de repères tracés sur les bords de la planchette et sur les tiges de l'appareil, on peut toujours replacer celui-ci à peu près dans la même position et n'avoir plus que de rapides vérifications à faire à chaque station.

Lorsqu'on doit prendre, du même point de vue, une perspective étendue ou même un panorama entier, on dessine par parties en faisant tourner, à chaque fois, la planchette autour de son axe (¹) d'un angle à peu près égal au champ de l'instrument, c'est-à-dire de 60° environ; ce que l'on reconnaît quand les objets que l'on voyait à l'extrême droite, par exemple, sont passés à l'extrême gauche, la rotation étant supposée s'opérer de gauche à droite. Six perspectives suffiront donc pour chaque panorama qui se trouvera ainsi dessiné sur les faces d'un prisme hexagonal circonscrit au cylindre à base circulaire ayant pour rayon la hauteur du prisme au-dessus de la planchette, c'est-à-dire la distance du point de vue au tableau. Afin, d'ailleurs, de ne rien omettre et pour rendre les raccordements faciles, il est bon que chaque perspective déborde sur celles qui lui sont contiguës, et il convient de profiter, dans ce but, de toute l'amplitude de l'instrument, qui atteint et dépasse même 65°.

Difficultés que présentent les premières observations et moyens de les surmonter. — Il suffit de quelques heures d'exercice pour réussir à suivre, avec la pointe d'un crayon, l'image *virtuelle* projetée sur le papier; et l'on finit même par opérer, au moyen de la chambre claire, à peu près aussi vite que si l'image était *réelle* comme dans la chambre obscure, et, dans ce dernier cas, l'opération peut se comparer à celle qu'un dessinateur exécute pour prendre un calque. Il est ce-

---

(¹) Nous avons recommandé la construction la plus simple pour la planchette. Il est indispensable toutefois que la vis que porte le pied et qui pénètre dans l'écrou fixé au centre de la planchette puisse être serrée et desserrée à volonté pour permettre ces mouvements de rotation sans que la fixité de la planchette en soit diminuée dans chaque position.

pendant nécessaire d'être prémuni contre les difficultés que l'on peut rencontrer, lorsqu'on essaye de regarder pour la première fois dans l'instrument, et de connaître les causes de ces difficultés ainsi que les moyens de les surmonter promptement.

En parlant de la substitution du prisme aux deux petits miroirs ordinaires, nous avons déjà fait remarquer que l'œil de l'observateur devait être placé exactement au-dessus de l'arête postérieure du prisme; et, en effet, si la pupille pénètre trop avant au-dessus de la face par laquelle émergent les faisceaux de lumière réfléchie, les images des objets éloignés sont très brillantes, mais la pointe du crayon n'est plus visible : si, au contraire, la pupille ne pénètre pas assez au-dessus de cette face, les images sont trop affaiblies et l'observateur est tenté de repasser brusquement à la première position; de là, des disparitions et des réapparitions alternatives de l'image et du crayon qui lassent quelquefois la patience de l'observateur, mais qu'il ne tarde pas à éviter, dès qu'il sait à quoi les attribuer.

Il faut encore avoir égard à la manière dont sont éclairés les objets éloignés et le papier sur lequel on dessine; ainsi, il est évident que les conditions les plus favorables seront celles où les faisceaux de rayons émanés des objets et ceux qu'envoie le papier auront la même intensité, ni trop grande ni trop faible. Car les faisceaux provenant de chaque origine devant s'accoupler pour pénétrer dans l'œil de l'observateur, une inégalité d'éclat comme une inégalité de divergence produirait à la longue une certaine fatigue; et, d'un autre côté, l'interposition du prisme ne ferait que rendre plus grave l'inconvénient qu'il y a toujours à arrêter longtemps la vue sur des corps vivement éclairés ou à vouloir, au contraire, reconnaître les moindres détails d'objets à peine perceptibles; enfin, l'éclat du papier exposé en pleine lumière est également dangereux. On voit, par le simple énoncé de ces conditions variables, qu'il serait difficile de donner des règles précises pour les ramener à l'uniformité normale nécessaire. Il y a là des questions d'expérience personnelle et de tact sur lesquelles il serait inutile d'insister. Nous nous bornerons donc à indiquer

l'emploi des verres colorés comme moyen de modérer l'éclat des images vues à travers le prisme et celui d'un écran de papier ou seulement de la main gauche, pour projeter de l'ombre sur la planchette ([1]).

XV. — *Erreurs particulières à l'instrument.*

Pour connaître le degré réel d'exactitude sur lequel on peut compter quand on construit des plans avec les perspectives dessinées à la chambre claire, il est nécessaire d'analyser et d'évaluer les différentes erreurs dues à la nature de l'instrument et à la manière d'en faire usage.

1° Les angles du prisme peuvent être imparfaitement construits. Considérons d'abord l'angle formé par les deux faces qui servent de miroirs. Quelques minutes en plus ou en moins dans l'ouverture de cet angle modifient les relations de position des rayons incidents et des rayons réfléchis et inclinent au-dessus ou au-dessous de l'horizon le plan sur lequel on projette les rayons visuels. La quantité dont se trouvent ainsi altérés les angles réduits à l'horizon est toujours faible et même négligeable, mais il n'en est pas de même pour les angles de pente; voyons, par exemple, ce qui se passe dans le plan principal.

Soit e l'erreur de l'angle des deux miroirs; après sa double réflexion, le rayon principal fera avec sa direction incidente un angle égal à $2 \times (45° \pm e) = 90° \pm 2e$. Par conséquent, ce rayon qui aurait dû suivre la verticale, s'en écartera d'un angle égal à $2e$, en avant ou en arrière, suivant le sens de l'erreur, et si nous désignons par D la distance réelle du point auquel va aboutir le rayon principal de la perspective, l'erreur commise dans le nivellement de ce point sera

$$\varepsilon = \mathrm{P} \tan 2e.$$

([1]) Les verres colorés qui accompagnent l'instrument ont une teinte neutre plus ou moins foncée; ils s'adaptent simplement au devant du prisme. On peut aussi les interposer entre l'œil et le papier, quand celui-ci est par trop éclatant.

Supposons $e = 5'$ et $D = 30^m$, on trouverait déjà $0^m,09$ pour l'erreur ε, ce qui correspond, sur la planchette supposée située à $0^m,30$ du point de vue, à un écart du point P de sa véritable position, égal à $0^m,0009$ ou environ 1 millimètre, on voit donc qu'il est indispensable que l'angle de 135° soit aussi exact que possible.

L'angle droit et les deux angles de $67^\circ \frac{1}{2}$ du prisme doivent être également construits avec le plus grand soin, sans quoi la marche des rayons lumineux serait modifiée, et il en résulterait des erreurs analogues à celle que nous venons d'évaluer.

On parviendrait, au besoin, à déterminer expérimentalement l'influence de ces défauts et, par suite, il serait possible d'en tenir compte pour rectifier les résultats, mais il vaudra toujours mieux se procurer un prisme exactement construit.

2° Le procédé employé pour trouver le point principal de la perspective entraîne, dans la position de ce point, une incertitude que l'on peut évaluer à $\frac{1}{2}$ millimètre. L'erreur qui en résulte, comme la précédente, n'affecte que les angles de pente, mais elle est assez grave pour que l'on doive la signaler ; elle peut, d'ailleurs, s'ajouter à la précédente.

3° Enfin, dans le dessin de la perspective, le trait pourra s'écarter légèrement de l'image ; mais, pour peu que l'opérateur soit exercé, l'écart ne dépassera pas non plus $\frac{1}{2}$ millimètre (¹).

En réunissant cette erreur graphique avec celle qui provient de la détermination du point principal, nous pouvons admettre que la position de chaque point de la perspective est exacte à moins d'un millimètre près par rapport au plan d'horizon. Or, la plus courte distance du point de vue au tableau étant toujours supposée de $0^m,30$, la tangente de l'angle sous-tendu par un millimètre sur le tableau sera

$$\frac{0^m,001}{0^m,30} = 0,0033$$

qui correspond à un angle de 10′ à 12′. Telle est donc, en somme, l'erreur *possible* sur chaque angle de pente. Quant

(¹) L'épaisseur du trait pourrait rendre cette erreur plus considérable; il est donc essentiel de ne dessiner qu'avec un crayon bien taillé et manié avec précaution.

aux angles réduits à l'horizon, comme ils ne sont affectés que de l'erreur du dessin estimée à $\frac{1}{2}$ millimètre seulement, ils seront obtenus à 5′ près.

Comparaison des angles mesurés avec la boussole en usage dans le service du Génie et avec la chambre claire. — Les conséquences auxquelles nous venons d'être conduit en nous fondant sur des faits d'expérience que tout dessinateur un peu adroit constaterait aisément, se trouvent pleinement confirmées par les résultats suivants de deux séries d'observations faites en 1850, de concert avec M. le lieutenant-colonel du Génie, depuis général Bichot, alors commandant de la brigade topographique de ce service, résultats consignés dans le Tableau suivant :

DÉSIGNATION DES ANGLES (¹).	ANGLES RÉDUITS A L'HORIZON		DIFFÉRENCES.	DÉSIGNATION DES POINTS VISÉS (¹).	ANGLES DE PENTE		DIFFÉRENCES.
	lus sur le limbe de la boussole.	mesurés au moyen de la chambre claire.			lus sur l'éclimètre de la boussole.	mesurés au moyen de la chambre claire.	
1 $\widehat{AB}$	4° 50′	4° 45′	— 5′	1 A	8° 27′	8° 30′	+ 3′
2 $\widehat{AC}$	17° 20′	17° 20′	0	2 B	29° 16′	29° 20′	+ 4′
3 $\widehat{AD}$	30° 20′	30° 15′	— 5′	3 C	18° 11′	18° 15′	+ 4′
4 $\widehat{AE}$	47° 20′	47° 10′	— 10′	4 D	22° 42′	22° 45′	+ 3′
5 $\widehat{AF}$	65° 10′	65° 00′	— 10′	5 E	32° 45′	32° 35′	— 10′
				6 F	8° 55′	9° 00′	+ 5′

(¹) Les lettres inscrites dans ces deux colonnes se rapportent à la *fig.* 1 de la *Pl. IX*. Comme on pourrait être tenté d'objecter qu'elles ont été faites dans des circonstances particulièrement favorables, il n'est peut-être pas inutile de dire que le dessin sur lequel ont été prises les mesures avait été exécuté sans autre intention que d'essayer l'instrument nouvellement construit. C'est seulement après coup que l'idée est venue de faire la comparaison des éléments consignés dans ce Tableau, les angles lus sur la boussole par M. le lieutenant-colonel Bichot ne m'ayant été communiqués qu'après l'achèvement complet des mesures que j'avais faites sur le dessin exécuté à la chambre claire.

De l'examen de ce Tableau, il résulte, relativement aux mesures prises sur les perspectives dessinées au moyen de la chambre claire :

1° Que les angles réduits à l'horizon ont, sur ces perspectives, un degré de précision au moins égal à celui des angles lus sur le limbe de la boussole, et je ne crains pas d'affirmer aujourd'hui que leur degré de précision est supérieur et de même ordre que celui des angles relevés, à l'aide d'une planchette et d'une alidade, par les meilleurs opérateurs ;

2° Que les angles de pente, quoique moins exacts que ceux que l'on obtiendrait avec un éclimètre muni d'un vernier, le sont encore suffisamment pour procurer un nivellement passable de tous les points qui ne s'éloignent pas trop des stations. Pour fixer les idées à cet égard, nous rappellerons que l'erreur de 10′, qui est une limite pour un opérateur soigneux, correspond

	m		m
à	0,001	à la distance de.........	0,30,
à	0,10	à la distance de.........	30,00,
à	1,00	à la distance de.........	300,00.

Je pourrais m'arrêter là et laisser au lecteur le soin de tirer lui-même les conclusions. Il doit cependant m'être permis d'insister sur ce que le *Mémoire sur l'emploi de la chambre claire dans les reconnaissances topographiques*, écrit en 1850, publié en 1854 ([1]) et dont j'ai reproduit presque textuellement les parties essentielles, renfermait tous les principes qui ont été appliqués, depuis cette époque, par nous et plus tard par beaucoup d'autres, pour utiliser la Photographie dans le même but.

L'art nouveau né de ces tentatives a reçu, en Allemagne, le nom de *Photogrammétrie* ([2]), et en Italie, celui de *Photo-*

([1]) *Mémorial de l'Officier du Génie*, n° 16. Paris, imprimerie et librairie de Mallet-Bachelier, rue du Jardinet, 12 ; 1854.

([2]) J'étais disposé à adopter ce nom, quand on me prévint que le Congrès international des photographes avait émis le vœu que les applications scientifiques de leur art reçussent des dénominations terminées par le mot *photographie* tout entier, exemples : microphotographie, chronophotographie, uranophotographie, etc., les applications industrielles devant être désignées, au contraire, par des noms commençant par photo, exemples :

topographie (*fototopografia*) que l'on avait déjà employé en France.

Je n'avais pas songé tout d'abord, je l'avoue, à résumer d'un seul mot les procédés que je faisais connaître en les qualifiant simplement d'applications de la perspective à la Topographie. On me l'a reproché et je me tiens pour averti, aussi bien pour l'application suivante que pour celle qui vient d'être traitée.

XVI. — *Télémétrographie.*

Du télémétrographe à forts grossissements. — Avant de nous séparer de la chambre claire, il convient de revenir sur l'usage qui en a été fait, dans les reconnaissances à de grandes distances, et dont le principe a été indiqué au paragraphe VIII, à propos de l'évaluation des distances modérées, quoique relativement grandes par rapport à celles que l'on emploie habituellement en Topographie.

On a vu, en effet, dans ce paragraphe, le parti que l'on pouvait tirer de l'adjonction d'une lunette de faible grossissement pour évaluer des distances de plusieurs centaines de mètres avec une approximation souvent suffisante. Peut-être nous en serions-nous tenu à ce système des petites lunettes faciles à monter sur la planchette de la chambre claire, sans une circonstance à laquelle nous n'avions pas songé tout d'abord et qui s'est présentée, imposée même, pourrions-nous dire, un peu plus tard. Nous voulons parler des reconnaissances dont nous fûmes chargé par le Gouverneur de Paris pendant le siège entrepris par les armées allemandes.

Il s'agissait alors, en effet, de déterminer les positions et les mouvements de l'ennemi sur toute la périphérie de ses lignes d'investissement, de relever ces lignes elles-mêmes, les travaux

---

photolithographie, photogravure, photoglyptie, etc., au lieu de *phototopographie*, il fallait donc dire *topophotographie*, et, au lieu de *photogrammétrie*, *métrophotographie*. J'ai adopté en conséquence cette dernière dénomination et j'y ai ajouté celle d'*iconométrie* correspondant au *Bildmesskunst* des Allemands, plus générale, puisqu'elle embrasse l'art des restitutions des images dessinées aussi bien que des images photographiées.

de toute nature qui s'y exécutaient journellement, tranchées, épaulements, batteries, abatis d'arbres, crénelage des murs, etc.

On trouvera dans un Appendice, à la fin de ce Chapitre, les dispositions générales qu'en notre qualité de Directeur des Observatoires militaires nous avions prises pour atteindre ce but, et l'on y verra le rôle important rempli par le télémétrographe. Nous devons nous borner ici à indiquer ce qui caractérise cet instrument au point de vue géométrique, et nous n'avons pour cela qu'à donner l'extrait suivant d'un Mémoire présenté à l'Académie des Sciences le 11 mai 1885 :

« L'analogie la plus complète existe entre le procédé dont il s'agit et celui qu'emploient journellement les micrographes. Le point essentiel, dans le cas dont je m'occupe, est de mettre en évidence le degré de précision que l'on atteint en évaluant les angles sur les images, sans le secours d'un micromètre.

» Je dois rappeler tout d'abord que le champ d'une lunette, qui peut supporter un assez fort grossissement, est nécessairement très restreint. En général, dans les lunettes terrestres, le produit du champ par le grossissement est sensiblement constant et de 25° environ. Les grossissements que nous avons employés étaient compris entre 33° et 65°, et les champs entre 45′ et 22′,5.

» Pour donner une idée du degré de précision des mesures que l'on peut effectuer sur les dessins télescopiques, je choisirai un de ceux qui ont été obtenus avec une lunette de 75^{mm} d'ouverture, dont le champ était de 30′ et le grossissement de 50. Je prendrai aussi le cas d'un opérateur pour qui la distance de la vue distincte était de $0^m,305$.

» On voit aisément, par le calcul, qu'alors le diamètre du cercle qui limite l'image projetée sur la planchette doit être de $0^m,135$ et le rayon du panorama de $15^m,25$ (¹).

(¹) Le télémétrographe donne, en effet, des panoramas cylindriques, et c'est vraisemblablement sa participation à nos travaux de reconnaissance qui a suggéré au peintre Philippoteaux l'idée de son célèbre *Bombardement du fort d'Issy*; mais les éléments de ces panoramas peuvent être considérés comme plans à cause de la grandeur du rayon, comparée à l'étendue d'un champ ou même de plusieurs champs de lunette juxtaposés.

» La figure ci-après (*fig.* 33) représentant un groupe de soldats allemands en train d'essayer de construire un retranchement dans la redoute de Montretout a été faite dans les conditions que j'ai spécifiées (¹). On reconnaît immédiatement

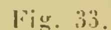
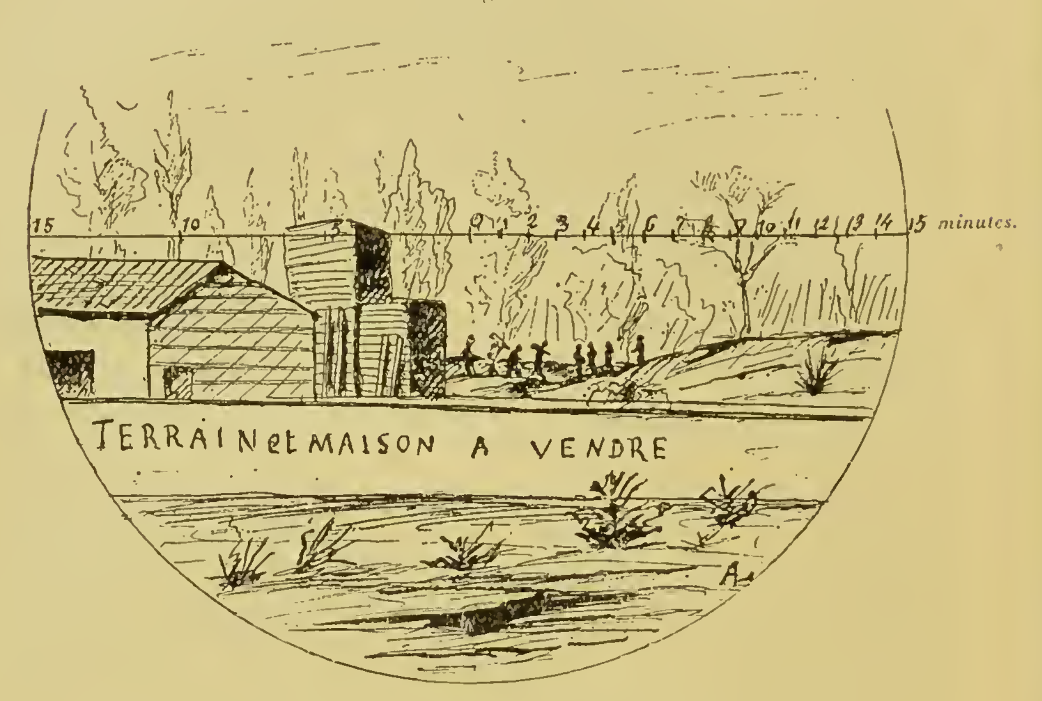


Fig. 33.



Champ de lunette sur Montretout.
Échelle $\frac{2}{3}$ de l'original.

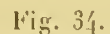
que les angles peuvent y être, à la rigueur, évalués à 5″ près, car une minute y est représentée (en tenant compte de la réduction de l'échelle) par $4^{mm},5$, ce qui fait entre $0^{mm},3$ et $0^{mm},4$ pour 5″.

» Le point où se trouvaient ces hommes était à 4500^{m} de l'observatoire de Passy, d'où ils ont été dessinés, et leur taille étant supposée de $1^{m},65$, en moyenne, devait correspondre à une hauteur angulaire de 1′15″. Or, c'est ce que l'on trouve effectivement. Nous aurions donc pu, inversement, en con-

(¹) « Qu'il me soit permis de dire que les avis de l'Observatoire militaire de Passy donnés télégraphiquement aux défenseurs du Mont-Valérien, qui immédiatement couvraient d'obus le point désigné, ont empêché l'ennemi de continuer ces travaux. »

clure à peu près la distance de 4500^{m}, si nous ne l'avions pas connue.

» J'ai cité cet exemple parce qu'il est très frappant et très facile à suivre sur le dessin, mais je me hâte d'ajouter que nous avons eu recours à d'autres objets de comparaison que la


Fig. 34.



Télémétrographe.

taille de l'homme et à tous les moyens d'appréciation que nous fournissait la perspective, sans négliger la méthode des intersections, toutes les fois que nous pouvions l'employer. Au surplus, je ne saurais donner une meilleure preuve de la sûreté de nos évaluations qu'en renvoyant à la carte sur laquelle on voit des ouvrages ennemis reconnus jusqu'à 10^{km} et 12^{km} des observatoires les plus rapprochés et dont la posi-

tion a été vérifiée après la levée du siège (par un service indépendant du nôtre) [1].

» Je ferai enfin remarquer qu'il n'y a réellement qu'une constante à déterminer : le champ angulaire de la lunette mise au point pour une vue quelconque. Cette détermination faite, on peut confier l'appareil à un dessinateur étranger aux opérations géométriques. Il faut seulement lui faire mettre, une fois pour toutes, la lunette à son point, sur un objet éloigné et la planchette à la distance convenable à sa vue (ce dont il s'assurera en constatant que toute parallaxe optique a disparu), lui faire tracer la circonférence du champ de lunette ainsi obtenu et mesurer la distance de l'arête supérieure du prisme de la chambre claire à la planchette, d'où l'on conclura le grossissement correspondant et le rayon du panorama. Ces précautions prises, le dessinateur n'aura plus qu'à tracer à l'avance les cercles de ses champs de lunette et à y amener les images successives qui forment le panorama, en faisant tourner la lunette et en ajustant sa planchette.

» Parmi les habiles artistes qui m'ont prêté leur concours pendant le siège, il y avait certainement des myopes et des presbytes, à un assez faible degré toutefois, à moins qu'ils n'aient fait usage de besicles. Les diamètres des champs de lunette, dont on a laissé subsister la trace sur la plupart des dessins conservés, varient cependant de $0^m,110$ à $0^m,152$, mais il en résulte simplement que les distances auxquelles on a placé la planchette ont varié de $0^m,25$ à $0^m,35$.

» Je n'ai pas besoin d'ajouter que le degré de précision des mesures angulaires varie avec le champ de la lunette et avec la distance de la planchette. Les rayons de nos panoramas ont toujours dépassé 10^m et atteint jusqu'à 20^m ; on comprend donc aisément que, sur de pareils cercles, les angles n'ont pas cessé d'être évalués avec une extrême précision graphique. »

Nous ne croyons devoir rien ajouter à cette citation dans laquelle se trouvent amplement exposées les propriétés géo-

---

(1) Nous regrettons beaucoup de ne pouvoir pas reproduire cette carte, à cause de son étendue.

métriques du télémétrographe, si ce n'est que l'expérience prolongée pendant les quatre mois de la durée du siège de Paris par nombre d'officiers, d'ingénieurs, de savants et d'artistes du plus grand mérite a fait plus que confirmer nos prévisions.

Tous ceux qui avaient pris une fois la peine de se servir de cet instrument étaient frappés de la netteté et de l'exactitude des résultats qu'ils obtenaient et dont ils se donnaient souvent eux-mêmes la satisfaction de tirer les conséquences avant d'envoyer leurs dessins à la Direction des observatoires militaires où leur rapprochement permettait d'effectuer le travail d'ensemble.

Ainsi que nous l'avons annoncé, on trouvera dans un Appendice les renseignements complémentaires sur l'organisation de ce service de reconnaissances à de grandes distances, qui est sans doute, jusqu'à ce jour, celui qui a fonctionné sur la plus grande échelle.

Ajoutons que nous avons eu la bonne fortune de retrouver, après la Commune, une grande partie des dessins originaux, des artistes de grand mérite nommés dans l'Appendice, qui sont aujourd'hui autant de documents du plus haut intérêt. Ne pouvant les publier dans cet Ouvrage, nous allons seulement en donner deux spécimens très réduits.

Le premier (*Pl. X*) représente les deux extrémités (formant la dixième partie) du panorama embrassé du clocher de Villejuif, comprenant le plateau entre les deux vallées de la Seine et de la Bièvre, de Choisy-le-Roi à Chevilly. Il avait été dessiné avec beaucoup de talent par M. Maxime Collignon, alors élève à l'École Normale, aujourd'hui membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres. Son développement total atteignait 12^{m}; sur plusieurs points de ce panorama qui donnait une idée complète des travaux de l'ennemi, il y en a dont les distances s'élèvent à 7^{km}, 8^{km} et jusqu'à 10^{km}; l'échelle de réduction de la figure est de $\frac{1}{2,5}$ (entre $\frac{1}{2}$ et $\frac{1}{3}$).

Le second spécimen (*fig.* 35) représente la redoute de Montretout vue de la lanterne du Panthéon, c'est-à-dire d'une distance de plus de 10^{km} et les derniers plans dépassent 12^{km}. L'aquarelle très soignée, dont la *fig.* 35 est une réduction à

l'échelle de $\frac{1}{4,5}$, entre $\frac{1}{4}$ et $\frac{1}{5}$, avait été exécutée par M. Henry, architecte de l'École Polytechnique qui, du haut du même observatoire, avait dessiné plusieurs autres vues très intéressantes et jusqu'à des épisodes de la bataille de Champigny.

Nous avons toujours pensé et les explications dans lesquelles nous venons d'entrer et celles que nous donnerons plus loin (*voir* l'Appendice annoncé du Chap. III) sur le fonctionne-

Fig. 35.



Redoute de Montretout, vue du Panthéon.
Échelle $\frac{1}{4,5}$ de l'original.

ment des observatoires militaires pendant le siège de Paris suffiraient à justifier cette opinion, qu'il serait sage de profiter du temps de paix pour préparer un service analogue. Il serait facile, en effet, en utilisant le talent des jeunes artistes peintres ou architectes pendant leur service militaire, de faire dessiner à l'avance au télémétrographe, les panoramas du *terrain dangereux* autour de chacune de nos forteresses. Enfin, en recourant aux photographes professionnels ou amateurs également sous les drapeaux, on pourrait, grâce à la Téléphotographie, ajouter à l'œuvre d'ensemble des paysagistes des détails d'une merveilleuse précision.

Nous espérons pouvoir donner, dans l'un des paragraphes suivants, une reproduction à plus grande échelle de la vue précédente de Montretout, peinte à l'aquarelle, ainsi qu'un spécimen des vues photographiées et annotées de M. Javary.

exécutées de même pendant le siège de Paris. Ces documents nous semblent, en effet, de nature à convaincre les plus incrédules des services considérables que sont appelés à rendre aux défenseurs, et principalement aux artilleurs, des dessins et des photographies qui peuvent être étudiés à loisir et incessamment comparés, nous le répétons, avec les cartes topographiques.

La méthode à laquelle nous avons été conduit pour effectuer nos reconnaissances à de grandes distances est, en définitive, toujours fondée sur l'ancienne idée de l'association des plans ou des cartes et des vues pittoresques, mentionnée si souvent dans le Chapitre II et au commencement de celui-ci; seulement, la portée des bouches à feu ayant considérablement augmenté, il faut voir aussi plus loin et employer, par conséquent, des lunettes puissantes qui permettent de distinguer les objets et, grâce à la chambre claire ou à la Photographie, d'en fixer les images amplifiées.

MÉTROPHOTOGRAPHIE.

XVII. — *Chambre noire topographique ou photothéodolite.*

Les reconnaissances faites avec la chambre claire, non seulement autour de Paris, mais au cours de plusieurs voyages entrepris de 1851 à 1856 et dont les résultats avaient toujours été des plus satisfaisants, ne nous avaient pas fait perdre de vue l'emploi de la Photographie. Le Comité des fortifications avait autorisé, dès la fin de 1851, l'acquisition d'une chambre noire que nous avions munie d'un niveau à bulle d'air et d'une boussole, et avec laquelle quelques expériences furent commencées à l'aide de plaques préparées à l'albumine [1]. Mais ce procédé était trop assujettissant, le champ de notre objectif trop réduit, enfin la mise en station de l'appareil si incommode et si peu exacte que nous dûmes renoncer à prolonger des essais qui ne pouvaient conduire qu'à des résultats lents et imparfaits.

La même chambre noire nous servit encore, un peu plus tard, quand le procédé au collodion fut connu, à nous exercer, puis à étudier les conditions dans lesquelles il conviendrait d'organiser complètement un instrument destiné aux reconnaissances topographiques et accessoirement à la restitution des édifices, car nous n'avions pas oublié que notre première tentative faite avec la chambre claire, inspirée par l'exemple

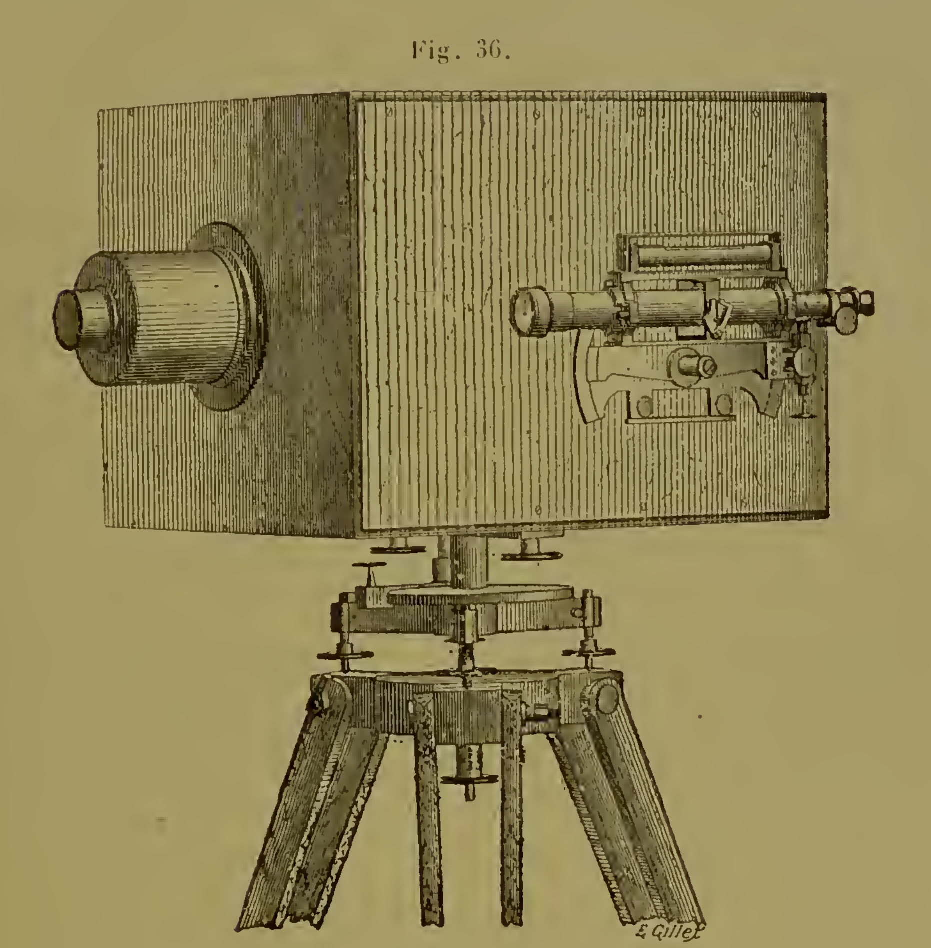
---

(1) L'illustre physicien Regnault, dont nous avions l'honneur d'être l'élève et l'ami, avait bien voulu s'intéresser à ces expériences, et les premières préparées dans son laboratoire, au Collège de France, furent exécutées d'une terrasse de cet établissement, en dirigeant l'appareil sur les édifices environnants.

de Caristie, avait eu précisément pour objet de relever des mesures géométriques exactes sur une vue du dôme des Invalides, prise de la place Vauban.

Les procédés d'agrandissement, si simples et si répandus aujourd'hui, étant alors très incommodes et très imparfaits,

Fig. 36.



Chambre noire topographique.

pour avoir des détails suffisamment nets des plans éloignés, nous avions adopté un objectif dont la distance focale était de $0^{m},50$, bien supérieure par conséquent à la vue distincte.

L'excellent opticien Bertaud jeune, qui, dès cette époque (1858), pratiquait très habilement une méthode des *retouches locales* qui lui était propre, était parvenu à nous livrer un objectif simple dont le champ sans aberration sensible dépassait 30°.

Enfin, nous nous étions adressé au célèbre artiste Brunner, pour la construction de la première *chambre noire topographique,* munie des organes essentiels et dont les nombreux appareils analogues ont reçu plus tard, en France et à l'étranger, les noms de *photothéodolites, phototachéomètres, photogrammètres,* etc. Cette chambre noire représentée *fig.* 36 et dont nous allons donner la description détaillée, fut terminée en 1859, et nous ne tardâmes pas à la soumettre aux expériences dont il sera question ci-après.

Propriétés des images produites dans la chambre noire. — Rappelons encore quelques notions déjà exposées à propos des vues dessinées à la chambre claire, en les étendant aux images photographiées. Les vues de paysages, qui se peignent au fond de la chambre noire, sont des perspectives coniques sur des tableaux plans entièrement analogues à celles que l'on dessine avec la chambre claire et jouissant, par suite, des mêmes propriétés que ces dernières.

Le sommet du cône est, dans ce cas, un point situé sur l'axe optique de l'objectif et qui, selon la théorie que l'on adopte, est le *centre optique* de cet objectif ou le point *nodal d'émergence* des rayons lumineux. Pour simplifier le langage, et bien que la théorie des points nodaux soit la plus exacte, nous continuerons à désigner le sommet du cône de la perspective sous le nom de *centre de l'objectif,* sans préjuger sa position, que nous chercherons plus tard à déterminer.

Nous admettons tout d'abord que le tableau sur lequel viennent se former les images est fixé à une distance constante de ce centre, qui est le *point de vue* de la perspective, et nous sommes autorisé à faire cette hypothèse puisque nous opérons, en général, sur des paysages composés d'objets assez éloignés pour que leurs images viennent se former dans le même plan focal, celui qu'on appelle le *plan focal principal.*

Ce que nous aurons à déterminer n'est donc théoriquement autre chose que la *distance du point de vue au tableau.*

Cette distance est l'un des éléments essentiels et, il faut

ajouter, des plus importants à considérer dans une perspective, puisque c'est lui qui détermine la longueur des rayons comprise entre le point de vue et le tableau, ce qui correspond à la longueur des *lignes de visée* dans les instruments pourvus d'alidades ou de lunettes.

Toutes les autres définitions que nous avons données à propos des perspectives dessinées à la chambre claire s'appliquent aux perspectives photographiées. La *fig.* 1 de la *Pl. XI* va nous servir à les rappeler ici sommairement.

Soient O le centre de l'objectif, dOP son axe optique supposé horizontal, et OMSL le plan focal occupé par une glace dépolie, sur laquelle l'image aérienne se voit nettement. A la distance OP égale à Od et prise en avant de l'objectif, du côté du paysage naturel, concevons une surface plane et transparente QRST parallèle au plan focal. Le centre O de l'objectif étant pris pour point de vue de la perspective que l'on peut concevoir tracée sur la surface QRST, il est évident que cette perspective est superposable avec celle qui se projette sur la glace dépolie vue par transparence, la distance OP du point de vue au tableau étant égale à la distance focale Od ; P étant le point principal et HPN la ligne d'horizon sur la perspective directe, d et HdN sont le point principal et la ligne d'horizon sur la glace dépolie.

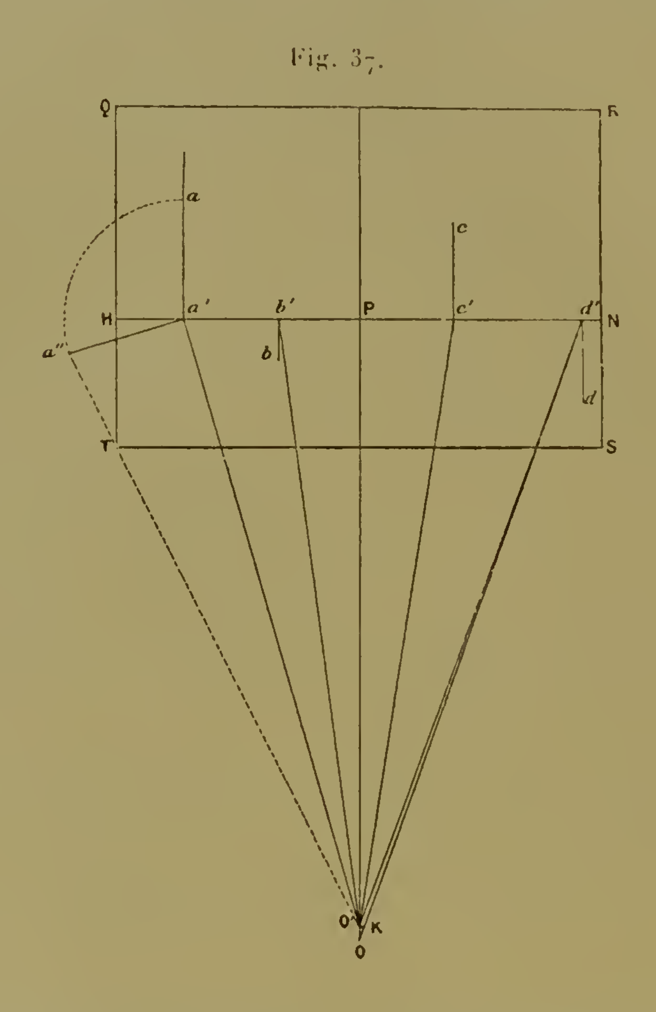
Remarquons enfin que l'image aérienne, vue sur la glace dépolie, est précisément celle que l'on obtient photographiquement sous le nom d'*épreuve positive*, d'où il résulte que l'on peut substituer l'épreuve positive elle-même à l'image idéale de la surface transparente.

En résumé, les vues photographiées représentent bien des perspectives géométriques du terrain ayant le centre de l'objectif pour point de vue, et sur un tableau dont la distance à ce point est égale à la distance focale principale de l'objectif. Par conséquent, étant données sur une vue photographiée QRST (*fig.* 37), la position du point principal P et la ligne d'horizon HPN, connaissant d'ailleurs la distance focale de l'objectif qui a servi à prendre la vue, on peut obtenir immédiatement réduits à l'horizon les angles compris entre les différents points du paysage et déterminer graphiquement ou

par leurs tangentes trigonométriques les hauteurs ou les dépressions apparentes de chacun de ces points.

On n'a, en effet, pour cela, qu'à opérer, comme nous l'avons montré sur les vues dessinées à la chambre claire, c'est-à-dire rabattre le plan d'horizon sur celui du tableau, autour de la

Fig. 37.



ligne d'horizon HPN prise pour charnière. Le point de vue se trouvera rabattu lui-même en O sur la perpendiculaire PO à la ligne HPN, et à une distance OP de cette ligne égale à la distance focale qui est donnée. En abaissant alors, des différents points a, b, c, d, les perpendiculaires aa', bb', cc', dd' sur la ligne HPN et en joignant les pieds a', b', c', d' de ces perpendiculaires au point O, $a'Ob'$, $a'Oc'$, $a'Od'$ seront les angles réduits à l'horizon que l'on aurait trouvés au moyen d'un cercle divisé ou d'une planchette et d'une alidade mis en station au

même point que la chambre obscure, en visant successivement sur les points du terrain dont a, b, c, d sont les images. Quant à la hauteur angulaire apparente de l'un quelconque de ces points, celle du sommet a d'un arbre, par exemple, on l'obtiendrait graphiquement en élevant en a' et sur Oa' la perpendiculaire $a'a''$ égale à aa' et en joignant le point a'' au point O. Il est clair, en effet, que l'angle $a'Oa''$ est égal à l'angle cherché aOa' de l'espace. Mais on évite cette construction en se servant, au lieu de l'angle lui-même, du rapport $\frac{aa'}{Oa'}$ qui en est la tangente trigonométrique et que l'on fait entrer directement, comme nous l'avons expliqué au Chapitre des Méthodes, dans les calculs du nivellement.

Arrivons à la description de la première chambre noire topographique expressément construite pour assurer l'exactitude des opérations et celle des résultats que nous voulions obtenir. Nous conserverons la figure de cet appareil et le texte de la description que l'on trouve dans le n° 17 du *Mémorial de l'Officier du Génie,* année 1864, pages 262 et suivantes. Nous indiquerons, dans le Chapitre suivant, les autres formes ou dispositions d'appareils adoptés par les opérateurs qui nous ont succédé dans la même voie, mais nous donnerons auparavant, à la fin de celui-ci, la description de ceux dont nous conseillons l'emploi aux ingénieurs, aux voyageurs scientifiques, enfin aux touristes qui veulent contribuer à faciliter les études du terrain dans les pays qu'ils parcourent.

De la chambre noire topographique. — La chambre noire (*Pl. XI, fig.* 2 et 3) se compose spécialement d'une boîte portant à l'avant l'objectif, et, à l'arrière, dans une coulisse, le châssis qui contient la plaque ou la feuille de papier destinée à recevoir l'image.

De l'objectif. — Les photographes emploient deux sortes d'objectifs, les uns formés d'une seule lentille achromatique, les autres composés de deux ou trois lentilles convenablement disposées à la suite l'une de l'autre. Les premiers, désignés sous le nom d'*objectifs simples,* sont d'un prix moins élevé

que les seconds et suffisent pour les vues de paysage [1].

Nous réservons d'ailleurs la question du choix de l'objectif; ce qu'il importe de savoir, quant à présent, c'est que, dans tous les cas, il existe un centre optique [2] sur l'axe de figure du système des verres, quel qu'il soit. L'objectif *simple* O (*fig.* 1 et 2) est placé dans une monture formée de deux tuyaux, dont l'un se visse au centre de la face antérieure de la boîte et dont l'autre, qui porte l'objectif, peut ordinairement glisser dans le premier. Ce mouvement de lorgnette sert à *mettre au foyer*, c'est-à-dire à faire coïncider le plan focal de la lentille avec la surface sensible. Enfin, les diaphragmes, qui servent à augmenter la netteté des images, se logent, en général, dans un tuyau plus étroit adapté à celui qui porte l'objectif. Quand on veut empêcher la lumière de pénétrer dans la chambre, on ferme l'ouverture de ce tuyau avec un couvercle (un chapeau) qui doit s'ajuster aisément, pour qu'en le plaçant ou en le retirant, on ne soit pas exposé à déranger l'appareil [3].

De la glace dépolie et des châssis. — Pour mettre au foyer, on se sert d'une glace dépolie sur laquelle on peut voir distinctement l'image aérienne formée par l'objectif. Cette image acquiert plus de vivacité quand l'opérateur l'isole de la lumière extérieure, en se couvrant la tête d'une étoffe noire qui enveloppe en même temps la boîte. En retirant ou en enfonçant l'objectif, on saisit sans peine l'instant où l'image acquiert sa plus grande netteté.

Quand la chambre obscure est destinée à reproduire tantôt les images d'objets éloignés, tantôt celles d'objets rapprochés, il est nécessaire de recommencer chaque fois la mise au foyer;

---

(1) Ceci a été écrit en 1859; les progrès de l'Optique photographique, depuis cette époque, ont produit de tels changements dans les habitudes que les objectifs simples ont à peu près disparu.

(2) On sait le sens que nous attribuons à cette expression.

(3) Il est évident que ces détails et plusieurs de ceux qui suivent sont surannés; je ne les ai reproduits que pour ne pas interrompre la description de mon premier appareil, que j'ai cru nécessaire de donner pour éviter toute contestation sur la question de priorité, en ce qui concerne la construction des théodolites photographiques.

mais, lorsqu'on ne veut prendre que des vues de paysage, cette opération peut être faite une fois pour toutes. Dans ce cas, l'objectif doit être fixé définitivement, ou bien on se contente de le ramener toujours à un même repère marqué sur la monture.

La glace dépolie n'en sert pas moins à vérifier de temps en temps l'exactitude du repère et surtout à examiner les vues que l'on veut prendre, pour les diviser au besoin en plusieurs épreuves.

Les châssis *à épreuves négatives*, que l'on substitue à la glace dépolie, doivent être construits avec beaucoup de soin, pour que la surface sensible vienne se placer bien exactement dans le plan focal. C'est ce que l'on reconnaît à la netteté des épreuves elles-mêmes ou à celle des épreuves *positives* qu'elles fournissent.

Du pied de l'instrument. — La boîte de la chambre noire repose immédiatement sur un fort croisillon en bronze CC, sur lequel on la fixe au moyen des vis V, V, qui pénètrent dans des écrous noyés au fond de la boîte. Ce croisillon fait corps avec un cylindre creux BB, emboîtant un axe vertical en acier, autour duquel l'appareil peut tourner facilement. L'axe est porté par un trépied à vis calantes T, T, T, posé lui-même sur le plateau d'un pied à trois branches. Une forte vis, armée d'un ressort qui traverse le plateau et pénètre au centre du trépied, travaillé en écrou, relie solidement les deux parties du support de la chambre noire.

Des organes géodésiques. — A la base de l'axe vertical est fixé un cercle horizontal HH, dont la division tracée sur la tranche est parcourue par l'alidade DD dans les mouvements de rotation. Cette alidade porte à son extrémité une pince P, qui, lorsqu'elle est serrée, maintient l'appareil dans une direction déterminée; elle porte, en outre, une vis de rappel R, pour faciliter le pointé, et un vernier donnant la minute. Les angles dont on fait tourner l'axe optique de l'objectif s'évaluent donc avec un degré de précision toujours suffisant dans des opérations destinées à être traduites graphiquement.

L'instrument comprend, d'ailleurs, un niveau à bulle d'air et à lunette, disposé sur l'un des côtés de la boîte. La lunette LL, placée dans ses collets J, J, est mobile autour d'un axe horizontal H et entraîne dans son mouvement une alidade DD', dont les verniers parcourent les arcs d'un éclimètre vertical EE; une vis de pression P' sert à arrêter la lunette dans la direction d'un objet pris pour point de mire, et la vis de rappel R' à rendre le pointé tout à fait exact. La lecture des verniers donne, au besoin, l'inclinaison de l'axe optique de cette lunette sur l'horizon.

Le niveau NN, dont les pieds Y, Y reposent sur les tourillons de la lunette, peut s'y retourner sans rester, pour cela, exposé à tomber quand on manœuvre ou quand on transporte l'instrument d'une station à l'autre. A cet effet, la règle inférieure du niveau porte en son milieu une double équerre FF, dont les branches verticales sont armées à leurs extrémités de petites tiges cylindriques qui s'engagent dans les fourches U, U fixées à l'alidade. En relevant les crochets Z, Z qui passent sur ces tiges, le niveau se trouve retenu et, lorsqu'on veut le retourner ou l'enlever tout à fait, on n'a qu'à abaisser les crochets.

La platine qui porte l'axe horizontal, et dans laquelle a été taillé l'éclimètre, s'applique solidement contre la face de la chambre obscure au moyen de vis W, W, qui traversent cette face, et d'écrous que l'on serre à l'intérieur; un contrepoids QQ vissé sur la face opposée ramène le centre de gravité sur l'axe vertical.

Indépendamment du réticule ordinaire, composé d'une croisée de fils, deux autres fils parallèles sont placés au foyer de la lunette pour servir à l'évaluation directe des distances (d'une station à l'autre), en certains cas, d'après le principe de la *stadia*.

Enfin, quatre aiguilles très fines *a*, *a*, *a*, *a*, sont disposées à l'intérieur de la boîte et au milieu des quatre côtés, tout près du bord contre lequel vient s'appliquer le châssis. Ces aiguilles, en interceptant la lumière, marquent sur les épreuves quatre traits de repère qui, joints deux à deux, donnent la ligne d'horizon et une perpendiculaire passant par le milieu de cette

ligne, c'est-à-dire la ligne principale dont l'intersection avec la ligne d'horizon est le point principal.

XVIII. — *Mise en station et rectification de l'instrument.*

L'objectif et les organes que l'on vient de décrire se démontent et se logent dans une caisse disposée pour les recevoir et d'où on les retire dans l'ordre suivant, quand on veut mettre l'appareil en station :

1° L'objectif que l'on visse sur la chambre noire;
2° Le trépied à vis calantes : on le met sur le pied en bois; on pose ensuite et l'on fixe la chambre noire par le croisillon;
3° L'éclimètre que l'on place contre celle des faces de la chambre qui est percée de trous pour le passage des vis W, W;
4° La lunette;
5° Le niveau.

On suit l'ordre inverse pour rentrer ces différentes pièces dans la caisse.

L'instrument étant entièrement monté et installé au-dessus du point choisi pour station, on procède aux rectifications qui sont au nombre de trois, savoir :

1° *Rendre l'axe de rotation vertical.* — Pour cela on amène d'abord les zéros des verniers des deux alidades en coïncidence avec les zéros des divisions correspondantes.

Le limbe horizontal a été construit de telle sorte que la lunette et le niveau se trouvent alors dans une direction parallèle à la ligne qui joint deux des vis à caler du trépied [1]; en

[1] Cette condition n'est pas indispensable et quand elle n'est pas remplie on en est quitte pour prendre d'autres divisions convenables sur le limbe pour y amener les zéros des verniers.

agissant sur l'une de ces vis ou sur toutes les deux à la fois, on amène la bulle du niveau entre ses repères, puis on fait tourner la chambre de 180° *exactement*, autour de l'axe vertical. Généralement, dans cette nouvelle position, la bulle ne revient pas entre ses repères et il faut l'y ramener en faisant une moitié de la correction au moyen des mêmes vis à caler et l'autre moitié à l'aide de la vis de rappel de l'éclimètre. Cela fait, on met le zéro de l'alidade D sur la division 90° du limbe, et l'on ramène la bulle entre ses repères, en agissant, cette fois, seulement sur la troisième vis à caler qui correspond à cette division.

On vérifie alors que l'axe est effectivement vertical, en voyant si la bulle reste entre ses repères pendant une rotation entière, et, si elle éprouve encore des déplacements sensibles, on achève la rectification en répétant une seconde fois la même série d'opérations (¹).

2° *Rectifier l'axe optique de la lunette.* — On commence par mettre la lunette *au point*, en retirant l'oculaire jusqu'à ce que les fils du réticule soient parfaitement distincts, puis en pointant sur des objets éloignés et en faisant marcher le système du réticule et de l'oculaire jusqu'à ce que les images de ces objets deviennent également très nettes.

L'un des deux fils de la croisée du réticule étant rendu sensiblement horizontal, on pointe exactement, mais par le seul mouvement de rotation de l'appareil autour de l'axe horizontal, sur un objet bien défini, puis on fait tourner la lunette dans ses collets, jusqu'à ce que le fil vertical soit renversé, c'est-à-dire redevenu vertical dans le sens opposé. Si alors l'image du point visé vient se projeter de nouveau sur la croisée des fils, l'axe optique a une position convenable : sinon, on estime la distance qui sépare l'image du point considéré de la croisée des fils et l'on déplace le réticule de la moitié de cette distance, en agissant sur une vis de correction dont

(¹) On se familiarise très rapidement avec ce genre d'opérations beaucoup plus simples dans la pratique qu'elles ne le semblent tout d'abord pour ceux qui ne sont pas encore initiés.

la position est facile à reconnaître sur la lunette elle-même.

Pour juger si l'opération a réussi, on choisit un autre point sur l'une des nouvelles directions que peut prendre l'axe optique, quand on fait tourner l'instrument autour de son axe vertical, et l'on recommence la même épreuve. Le reste de la correction se fait, s'il y a lieu, en agissant sur la même vis du réticule qui abaisse ou élève le fil horizontal de très petites quantités.

3° *Rendre l'axe optique de la lunette horizontal et déterminer l'erreur de collimation.* — La rectification précédente n'a servi qu'à amener l'axe optique de la lunette dans un plan qui passe par l'axe de figure et qui est à peu près horizontal. Pour achever de rendre cet axe optique exactement horizontal, la bulle du niveau étant toujours entre les repères, depuis la première rectification (1°), on retourne le niveau bout pour bout sur les tourillons de la lunette, et, pour cela, il faut d'abord avoir abaissé les crochets Z, Z. Si, dans cette nouvelle position, la bulle revient entre ses repères, comme les tourillons appartiennent par construction à un seul et même cylindre, la surface de ce cylindre aura ses génératrices horizontales et par conséquent l'axe de figure et l'axe optique lui-même seront horizontaux. Dans le cas contraire, on ferait une moitié de la correction avec la vis de rappel R′ de l'éclimètre, et l'autre moitié par la vis de correction K du niveau.

La lecture du vernier de l'éclimètre faite après cette opération est ce qu'on nomme l'*erreur de collimation* [1], et les angles de pente, indiqués par l'éclimètre dans une position quelconque de la lunette, doivent être augmentés ou diminués de cette quantité, suivant le sens de l'erreur et celui de l'inclinaison de la lunette.

Axe optique et plan focal. — L'instrument mis en station doit satisfaire, en outre, à plusieurs conditions qui sont remplies quand il sort des mains du constructeur.

---

[1] Ou mieux *collinéation. Voir* le Dictionnaire de Littré.

Ainsi :

1° Quand la lunette est horizontale, son axe optique est à la même hauteur que celui de l'objectif et, dans le mouvement de rotation autour de l'axe vertical, ces axes décrivent l'un et l'autre le plan d'horizon.

2° La coulisse pratiquée à l'arrière de la chambre est construite de manière que le plan des épreuves soit vertical et perpendiculaire à l'axe optique. Une légère imperfection dans la réalisation de ces deux premières conditions n'entraînerait aucune erreur sensible dans la pratique.

3° *Aiguilles de repère.* — Il importe, au contraire, en ce qui concerne les aiguilles de repère, et spécialement celles qui déterminent matériellement la ligne d'horizon, que leur position soit exactement fixée.

Mise en place et vérification des repères de la ligne d'horizon et du point principal. — Voici un moyen de fixer ou de vérifier la position des repères de la ligne d'horizon :

On a vu que, quand on fait tourner l'appareil rectifié autour de son axe vertical, le plan décrit par l'axe optique de la lunette est le plan de l'horizon même. Il résulte de là que si l'on dirige la lunette, par ce seul mouvement de rotation, sur un objet remarquable d'un paysage, cet objet, qui se trouvera sensiblement au centre de la glace dépolie, y marquera un point de la ligne d'horizon que l'on pourrait même prendre pour le point principal. L'opérateur, ayant bien reconnu l'objet dont il s'agit, n'aura qu'à faire tourner l'instrument d'un certain angle, d'abord de droite à gauche, puis de gauche à droite, pour l'amener alternativement sur les deux bords du cadre de la glace dépolie où il en marquera les traces avec la pointe du crayon. Il est clair que la ligne droite tirée entre ces deux points y représenterait la *ligne d'horizon.*

Les pointes latérales destinées à servir de repères doivent projeter leurs ombres sur cette ligne. C'est ainsi que leur position a été déterminée à l'époque de la construction de l'appareil, et qu'elle peut être vérifiée toutes les fois qu'on le juge nécessaire. Elles sont portées chacune par une petite pince

mobile dans une rainure verticale, ce qui permet de les élever ou de les abaisser au besoin.

Si l'on voulait prendre l'image d'un point sur lequel on dirige la lunette pour point principal, il faudrait s'astreindre à de nouvelles vérifications que l'on évite en plaçant les deux autres points de manière que la ligne qui les unit soit perpendiculaire à la ligne d'horizon et passe sensiblement par le milieu de cette ligne. On reconnaît très facilement que cette double condition est remplie, en se servant à cet effet, non plus de la glace dépolie, mais d'une épreuve positive obtenue à l'aide de l'appareil entièrement rectifié d'ailleurs. Dans ce cas encore, une extrême précision n'est pas de rigueur, et quand les deux pointes ont été placées avec soin par le constructeur, il n'est plus nécessaire d'y toucher, à moins d'accident.

Remarque. — L'objectif est habituellement fixé au milieu du côté antérieur de la chambre noire, et, par suite, la ligne d'horizon partage elle-même l'épreuve en deux parties égales.

D'un autre côté, comme, en général, les rayons visuels dirigés sur les objets du paysage ont des inclinaisons qui ne dépassent guère de 10° à 15° (au-dessus ou au-dessous de l'horizon), pour ne pas donner des dimensions exagérées à l'appareil, on règle sa hauteur d'après cette indication.

Il peut arriver cependant, en pays de montagnes ou dans des stations choisies à l'intérieur des villages, que les points de vue soient dominés par les objets environnants ou qu'ils les dominent eux-mêmes, de telle sorte que les images de ces objets ne se trouvent plus entièrement comprises dans le cadre de l'épreuve. Quand c'est le point de vue qui est dominé, la ligne d'horizon, au lieu de passer par le milieu de l'image, devrait en occuper la partie inférieure, et réciproquement, quand c'est lui qui domine, la ligne d'horizon devrait laisser la plus grande partie, sinon la totalité de l'image au-dessus d'elle. Or on peut aisément réaliser le déplacement de la ligne d'horizon, dont la position dépend de celle de l'objectif, en faisant porter celui-ci par un châssis mobile dans deux rainures verticales, pratiquées à la partie antérieure de la chambre noire.

Quant aux aiguilles, on peut les laisser à la même place; seulement la ligne qui les unit ne représente plus invariablement la ligne d'horizon, mais seulement une parallèle à cette ligne, dont le tracé sur les épreuves est d'ailleurs encore très facile. Il suffit, en effet, d'avoir une graduation de centimètre en centimètre sur les bords de la coulisse et des index sur le châssis qui porte l'objectif. Le zéro de cette graduation correspond à la position moyenne de l'objectif, pour laquelle la ligne d'horizon passe par les aiguilles.

Quand on élève l'objectif d'un certain nombre de centimètres, la ligne d'horizon suit ce mouvement, et, comme l'image sur laquelle elle se déplace est renversée, pour l'obtenir il faut, sur l'épreuve redressée, mener une parallèle à la ligne déterminée par les aiguilles et *au-dessous* de cette ligne, à la distance mesurée sur la graduation. Quand, au contraire, l'objectif a été descendu, la parallèle doit être tracée au-dessus de cette même ligne.

On évite, par ce moyen, de donner à la chambre noire des dimensions qui la rendraient inutilement incommode; car, dans la plupart des cas, les vues de paysage sont loin de couvrir toute l'étendue des plaques ou des feuilles de papier placées dans le plan focal, et dont la hauteur est ordinairement moindre que la largeur.

Mais la nécessité d'accroître, dans un sens ou dans l'autre, le champ vertical de la chambre obscure n'en est pas moins réelle, et elle s'était fait sentir, dans les études entreprises par M. le capitaine Javary pour expérimenter l'appareil que nous achevons de décrire et auquel nous avons fait ajouter le dispositif dont il vient d'être question ([1]).

Il doit être bien entendu, toutefois, que le champ net, dont nous n'avons pas encore parlé, a, dans tous les cas, une limite qui dépend de la nature de l'objectif et qu'on ne peut pas

---

([1]) Ce dispositif est celui qui est employé le plus habituellement pour éviter d'incliner l'axe optique de l'appareil et, par conséquent, le plan du tableau qui, cessant d'être vertical, donne des perspectives sur lesquelles, comme nous l'avons expliqué, les lignes verticales deviennent convergentes.

plus dépasser dans le sens vertical que dans le sens horizontal ([1]).

XIX. — *Détermination de la distance du point de vue au tableau.*

Cette distance qui règle, comme on sait, la longueur des lignes de visée et, par suite, celle des lignes de construction, doit être déterminée avec toute l'exactitude possible. On l'évalue indirectement en mesurant, d'une part, soit sur la glace dépolie, soit sur une épreuve positive, la distance linéaire du point principal à un autre point situé sur la ligne d'horizon, et, de l'autre, sur le cercle azimutal, l'angle compris entre les deux mêmes points du paysage naturel.

Revenons, par exemple, à la *fig.* 37, sur laquelle le point O représente le point de vue rabattu sur le plan du tableau. En joignant un point quelconque b' de la ligne d'horizon au point de vue, nous formerons un triangle rectangle en P, qui sera déterminé quand on connaîtra le côté Pb' de l'angle droit et l'angle aigu en O. Or, ces deux quantités sont celles dont il vient d'être question et que l'on peut facilement mesurer avec l'approximation d'une minute pour l'angle et d'une fraction de millimètre pour le côté.

La distance cherchée du point de vue au tableau, qui est le côté OP, se calcule ensuite par la formule

$$\mathrm{OP} = \mathrm{P}b' \cot \mathrm{PO}\,b'.$$

Si l'on se reporte à l'époque déjà éloignée où le Mémoire dont nous avons extrait la plus grande partie de ce paragraphe a été écrit, on comprendra que l'étude des déformations produites par les objectifs, même sur les épreuves d'un champ restreint, et celle des moyens de corriger les erreurs qui en

([1]) On se souvient, sans doute, qu'avec la chambre claire le champ vertical était indéfini; il convient de reconnaître qu'aujourd'hui, avec les objectifs grands angulaires, le champ vertical des épreuves photographiques n'est en quelque sorte limité que par les dimensions de l'appareil.

pouvaient résulter, constituaient à elles seules un chapitre important. Nous ne reproduirons pas ce chapitre devenu inutile depuis les merveilleux perfectionnements apportés à la construction des objectifs. Nous ne donnerons pas davantage les détails relatifs à la pratique de la Photographie; les publications nombreuses et excellentes répandues aujourd'hui sur un art devenu familier à tant de personnes nous en dispensent.

XX. — *Expériences officielles faites sur des vues photographiées, de* 1859 *à* 1864.

Commission de l'Académie des Sciences. — Avant même que l'appareil en construction chez Brunner nous eût été livré, nous avions soumis le 14 novembre 1859, à l'Académie des Sciences, une copie du Mémoire déjà déposé au Secrétariat du *Comité des fortifications* et qui ne devait paraître qu'en 1864 dans le n° 17 du *Mémorial de l'Officier du Génie* (¹), par suite d'un retard de près de dix ans apporté à la publication de ce recueil.

Les commissaires nommés par l'Académie pour l'examen de ce Mémoire, MM. Daussy et Laugier, nous ayant invité à opérer devant eux, nous dûmes emprunter une chambre noire dont l'objectif avait une distance focale de $0^{m},426$, voisine de celle que nous avions adoptée, à l'un de nos camarades, M. Laveine, ancien élève de l'École Polytechnique, qui nous aida aussi à préparer des plaques au collodion sec.

Un niveau à bulle d'air ayant été disposé temporairement à la partie supérieure de l'appareil pour sa mise en station, la ligne d'horizon fut déterminée à part, au moyen d'un niveau de précision dont la lunette était dirigée successivement sur trois des points de chacune des épreuves sur lesquelles il était facile de la tracer ensuite.

Voici l'extrait du Rapport de M. Laugier qui fait connaître

(¹) *Mémoire sur l'emploi de la Photographie dans le lever des plans et spécialement dans les reconnaissances militaires.*

les résultats déjà très concluants de cette expérience improvisée (¹) :

« Pour s'assurer de l'exactitude de la méthode, M. Laussedat s'est servi d'un plan de Paris exécuté en 1839, à l'échelle de $\frac{1}{6667}$ sous la direction de M. Emmery, ingénieur en chef des Ponts et Chaussées (²). Il a choisi pour stations la tour nord de Saint-Sulpice et l'observatoire de l'École Polytechnique et a photographié, en plusieurs épreuves, une certaine étendue des panoramas pris de ces deux stations. Empruntant ensuite au plan de Paris la distance de l'École à Saint-Sulpice (1233ᵐ), il a placé ces deux points sur un plan; puis, au moyen des perspectives photographiées, il a construit les lignes de visée relatives à quelques points remarquables, tels que la tour de l'Horloge (Conciergerie), la flèche du clocher de Notre-Dame, etc.; *les intersections de ces lignes de visée ont donné les positions de ces points avec une exactitude telle qu'on a pu opérer la coïncidence du plan de* M. LAUSSEDAT *et du plan de Paris.* Les points ainsi déterminés sont éloignés des stations de plus d'un kilomètre, mais nous nous sommes assurés qu'avec cette base de 1233ᵐ on aurait obtenu avec une exactitude suffisante les positions des points situés à des distances beaucoup plus grandes. A la station de Saint-Sulpice, les épreuves avaient été prises dans les conditions les plus défavorables; c'est cette circonstance qui nous a déterminés à opérer sur des points plus rapprochés. Nous avons pareillement cherché l'élévation de la flèche Notre-Dame au-dessus de l'arête du toit de la nef. La hauteur obtenue (50ᵐ), d'après une des photographies prises de l'École Polytechnique, s'est accordée avec la hauteur (47ᵐ) mesurée sur le plan même de la cathédrale (³). »

(¹) *Rapport sur un Mémoire de* M. LAUSSEDAT, etc., dans les *Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. L, janvier-juin 1860, p. 1127 et suivantes.

(²) Ce plan avait été apporté par l'autre commissaire, M. DAUSSY, qui désigna les monuments dont il désirait voir retrouver la position au moyen des vues photographiées, au nombre de dix ou douze.

(³) Cette comparaison faite, en présence de Viollet-le-Duc, par les

Nous joindrons à cette citation du Rapport, qui concluait nettement à l'approbation de la méthode, un second passage qui nous dispensera de décrire nous-même la manière expéditive dont nous appréciions l'une des qualités essentielles des objectifs que nous expérimentions, à savoir l'étendue du champ de l'image exempte de déformations :

« Pour que les plans construits d'après les photographies, » est-il dit dans le Rapport, présentent toute l'exactitude dont la » méthode est susceptible, il faut s'assurer que les images pho- » tographiées n'ont éprouvé aucune déformation sensible ; voici » le moyen dont M. Laussedat s'est servi dans cet examen :

» Au point même d'où la vue photographiée a été prise, on » établit une planchette sur laquelle on fixe la photographie. » Deux tiges articulées qui supportent le prisme d'une » chambre claire s'adaptent sur les côtés de la planchette ; en » faisant varier la distance du prisme au plan et en réglant sa » position, on arrive facilement à superposer l'image (vir- » tuelle) de la chambre claire et celle de la photographie. La » superposition ainsi établie pour les objets situés près du » point principal de perspective doit avoir lieu également pour » les objets qui en sont éloignés ; et comme l'image fournie » par la chambre claire dépasse de beaucoup celle de l'épreuve » (il en était ainsi, en effet, à cette époque), on a d'excellents » points de repère dans les lignes qui sont sur les bords de » celle-ci et qui doivent se trouver dans le prolongement des » mêmes lignes prises sur l'image de la chambre claire, si » l'objectif de l'appareil ne donne lieu à aucune déforma- » tion ([1]). Dans cette position du prisme, sa distance au plan

---

commissaires eux-mêmes, ne me satisfaisait pas entièrement et je n'ai pas craint d'affirmer et de prouver que l'on pouvait obtenir une plus grande approximation en procédant moins hâtivement qu'on ne l'avait fait et en recommençant l'expérience ; cette fois la hauteur trouvée fut de 48^m.

([1]) Il y aurait de légères modifications à apporter à cette rédaction, mais nous supposons que le lecteur les fera lui-même sans difficulté. L'expérience dont il s'agit, et dont l'un des effets les plus intéressants était de rendre la couleur à l'image photographiée par la superposition de l'image virtuelle qui est naturellement colorée, avait beaucoup frappé les commissaires ; elle est très facile à réaliser à la condition toutefois que la distance focale de l'objectif employé ne s'écarte pas trop de la distance de la vue distincte.

» de la planchette est égale à la distance focale de l'ob-
» jectif. »

Commission d'officiers du génie. — En 1861, le Ministre de la guerre ordonnait, de son côté, que la méthode photographique fût expérimentée en présence des officiers de la division du génie de la garde impériale. Le photothéodolite de Brunner était achevé et avait déjà été soumis à des essais préparatoires qui avaient servi à reconnaître l'excellence de sa construction. Le capitaine Laussedat s'étant mis à la disposition du chef de bataillon Blondeau qui commandait la division du génie, il fut convenu que l'expérience à entreprendre consisterait dans la reconnaissance topographique du village de Buc et de ses environs, près de Versailles.

Malgré l'inconvénient d'avoir à installer une tente doublée d'étoffe noire pour les manipulations, on avait décidé d'employer le procédé au collodion humide, à cause de la finesse qu'il donne aux images.

Le 4 mai, à une heure de l'après-midi, le break du génie transportait de Versailles à Buc le personnel qui devait prendre part ou assister aux expériences et le matériel nécessaire : appareil photographique, tente, ustensiles du laboratoire, jalons et chaîne d'arpenteur.

En arrivant sur le terrain on s'occupait immédiatement de mesurer une base de $334^{m},80$ le long d'un chemin rectiligne assez uni et dont les extrémités étaient propres à servir de stations photographiques, puis on déterminait trigonométriquement les positions de deux autres stations choisies de façon à bien découvrir, avec les premières, tout le terrain que l'on voulait reconnaître.

Cette petite triangulation faite et les quatre stations bien repérées, de chacune de celles-ci on n'eut besoin de prendre que deux vues pour réunir les éléments dont on avait besoin, et, grâce à un temps des plus favorables, les huit épreuves négatives, toutes excellentes, purent être obtenues, développées et fixées en moins de trois heures.

Les opérations extérieures ainsi terminées, l'expédition était de retour à Versailles à cinq heures.

Le tirage des épreuves positives portant chacune les quatre repères de la ligne d'horizon et de la ligne principale mit en évidence les excellentes qualités de l'objectif de Bertaud.

Nous donnons deux spécimens réduits (*fig.* 38 et 39) des vues qui ont servi à construire le plan que nous reproduisons également, toujours en réduction, et l'on doit bien supposer que les originaux sont d'un aspect encore plus satisfaisant ([1]).

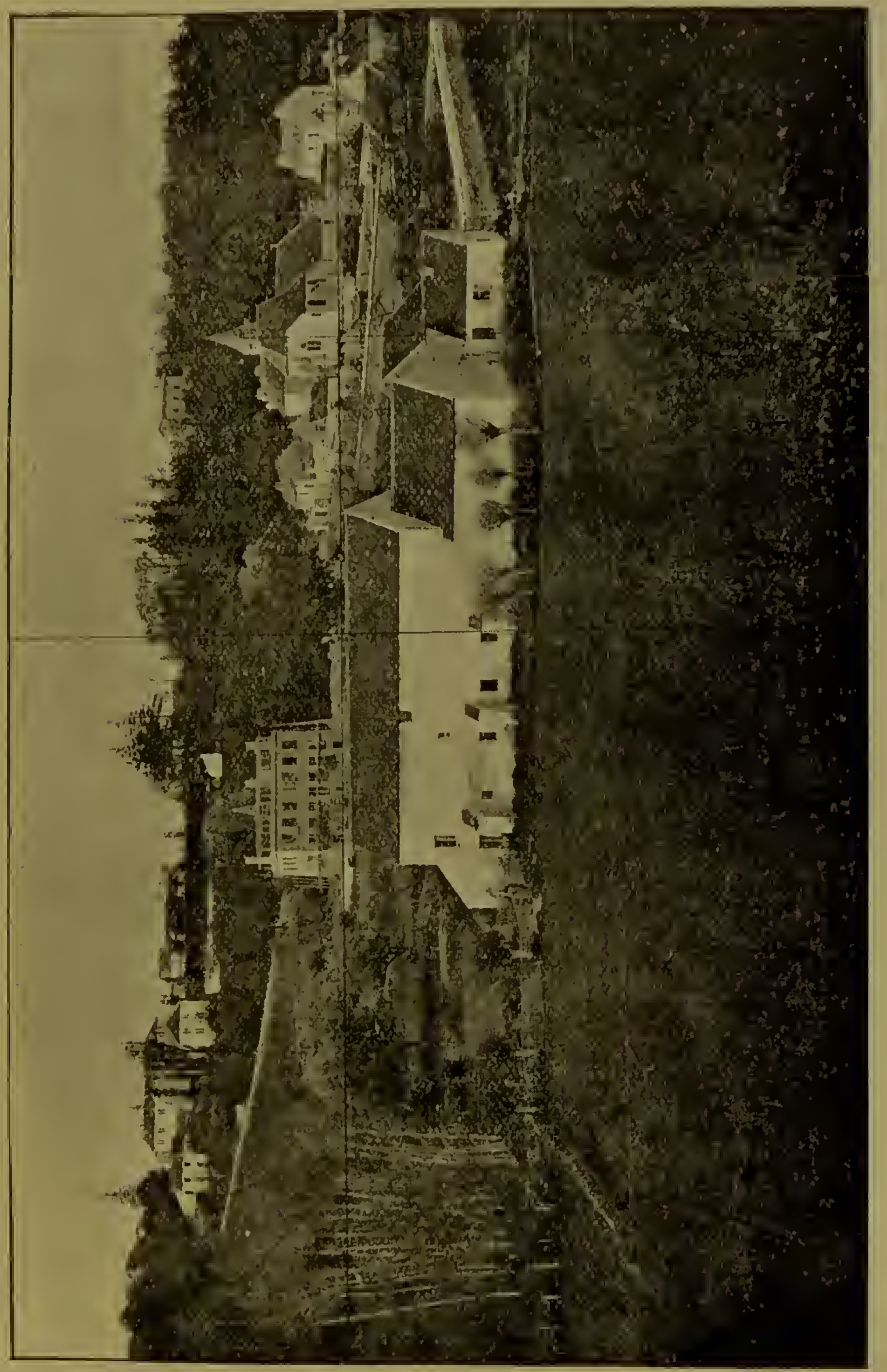
Quoi qu'il en soit, on peut juger que cette expérience avait pleinement réussi, et nous ajouterons, à titre d'indication seulement, car la question de rapidité dans l'exécution était alors moins importante que celle de la praticabilité de la méthode, que le tracé du plan avec les courbes de niveau avait duré trois ou quatre jours au plus, au milieu d'autres occupations.

Les officiers de la division du génie de la garde étaient dès lors si bien édifiés que, à l'automne suivant, ils entreprenaient la reconnaissance du Mont-Valérien, à propos du simulacre de siège de cette forteresse, et le lieutenant, depuis lieutenant-colonel Sabouraud, qui était chargé des opérations photographiques, pensa, avec raison, qu'il convenait, en campagne, d'abandonner le collodion humide et même le collodion sec et de leur substituer le papier ciré sec dont Civiale se servait depuis plusieurs années déjà, comme nous l'avons vu, pour ses études de montagnes.

L'épreuve que nous donnons à titre de spécimen (*fig.* 40)

([1]) L'Académie des Sciences de Madrid ayant mis au concours la question du *lever des plans à l'aide de la Photographie*, nous lui avions adressé en 1863, un Mémoire accompagné du plan de Buc, à l'échelle de $\frac{1}{1000}$, sur lequel se trouvaient disposées les huit vues photographiées rattachées à leurs stations respectives, ce qui permettait de contrôler immédiatement l'exactitude des détails. Ce travail, qui a valu à son auteur une médaille d'or, est conservé dans les archives de l'Académie, dont le secrétaire, que nous en remercions ici, a bien voulu nous faire parvenir le plan et les photographies et nous a mis ainsi en état de pouvoir en prendre une copie, alors que nous ne devions plus espérer nous en procurer une, l'original primitif resté à Versailles ayant disparu. Nous avons cru devoir reproduire (*Pl. XII*) une réduction plus petite encore de ce document lui-même, tout en regrettant de n'avoir pas pu lui conserver sa vraie grandeur.

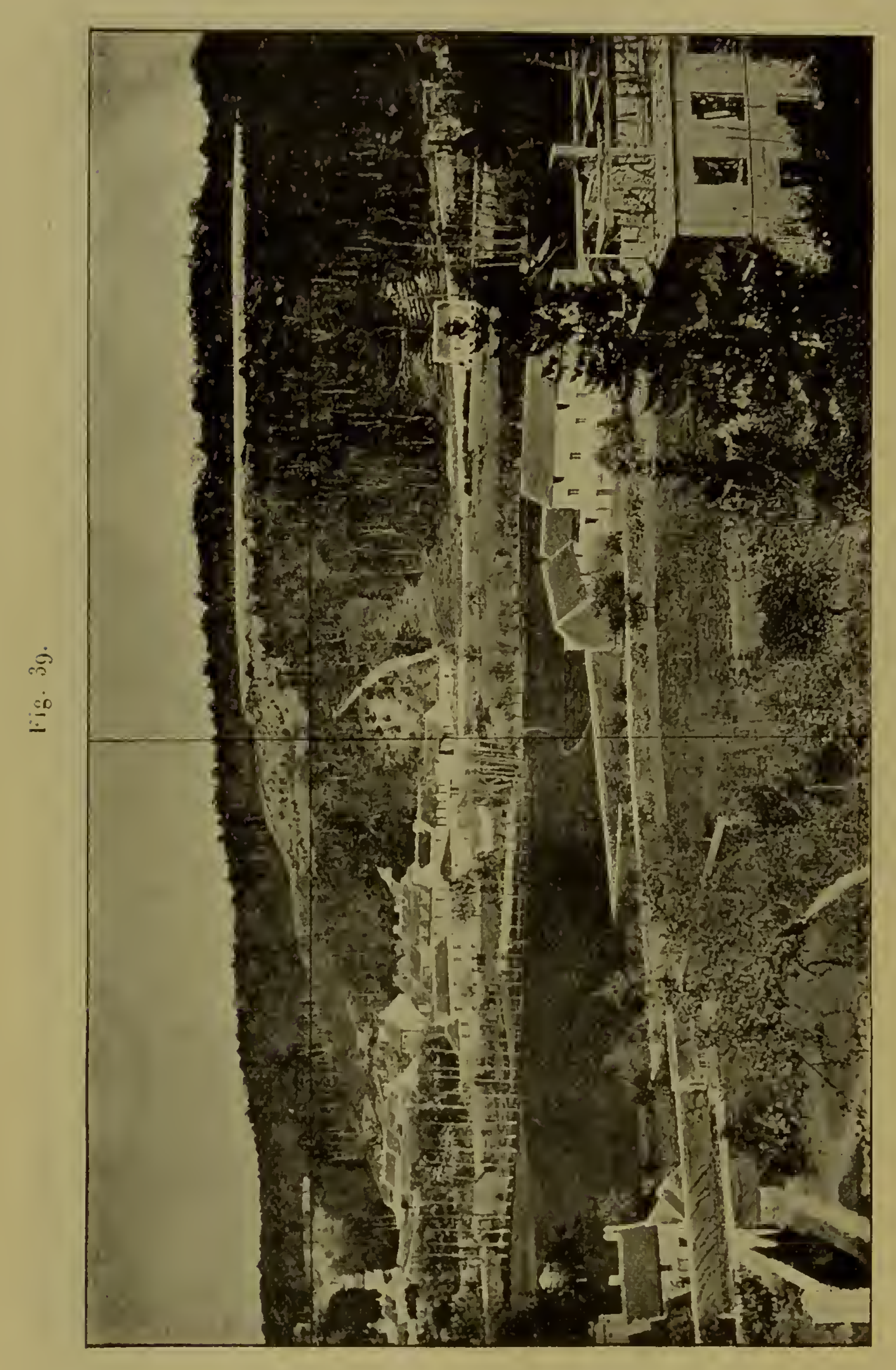
Fig. 38.



Vue du village de Buc.

suffit sans doute pour montrer le parti que l'on pouvait tirer de ce procédé et les images qu'il servait à obtenir. Le plan des

Fig. 39.



Vue du village de Buc.

abords de la forteresse et de la plus grande partie de son enceinte et des bâtiments qu'elle contient fut construit pen-



Vue du Mont-Valérien.

dant le simulacre de siège à une grande échelle et avec un plein succès.

XXI. — *Travaux de la brigade phototopographique du Génie de 1863 à 1871.*

La période des tâtonnements était donc passée, car tous ceux qui avaient bien voulu prendre part aux expériences dont nous venons de rendre compte, ou simplement y assister, reconnaissaient sans hésiter la simplicité et la fécondité de la méthode. En 1863, sur la proposition du Comité des fortifications, le Ministre de la guerre décidait qu'une petite brigade, composée du capitaine Javary et du garde du génie Galibardy, aidés de porteurs, serait chargée, sous la direction du commandant Laussedat, d'exécuter des levers d'une étendue analogue à celle des plans de la brigade topographique du Génie, aux mêmes échelles de $\frac{1}{1000}$, $\frac{1}{2000}$ ou $\frac{1}{5000}$ et exceptionnellement aux échelles inférieures de $\frac{1}{10000}$ et de $\frac{1}{20000}$. Cette brigade a opéré depuis 1863 jusqu'en 1870-71, et nous donnons dans le Tableau ci-après le relevé de ses travaux pendant les huit années de son existence, en nous abstenant de tout commentaire sur l'étrange mesure prise en 1871 qui décidait sa suppression, en dépit de l'intelligente activité dont avait fait preuve M. Javary, à qui nous tenons à rendre la plus entière justice, en déclarant qu'il avait beaucoup contribué à perfectionner la méthode. Et pour compléter les renseignements officiels qui précisent les phases par lesquelles a passé cette méthode jusqu'à son entier développement, nous reproduisons à la suite de ce Tableau la Note présentée à l'Académie des Sciences en novembre 1864, relative à sa première application à un lever d'une assez grande étendue.

TRAVAUX DE M. LE CAPITAINE JAVARY, ASSISTÉ DU GARDE DU GÉNIE GALIBARDY.

1863-1864. — *Expériences et études préparatoires exécutées autour de Paris.*

ANNÉES.	LOCALITÉS.	SURFACE du terrain reconnu ou levé.	CHEMINEMENT ou triangulation.	ÉCHELLES.	ÉQUI-DISTANCE des courbes.	DURÉE du travail extérieur.	DURÉE de la rédaction.	NOMBRE des stations.	NOMBRE des épreuves.	NOMBRE des points construits et cotés.
1864	Fortifications et environs de Grenoble	2000 hectares	9 kilom.	$\frac{1}{5000}$	10 mètres	60 heures	2 mois	18	29	600
1865	Forts de l'Est, à Paris (reconnaissance militaire).	2775 »	13km,907	$\frac{1}{5000}$	1 mètre	36 »	»	24	33	1450
»	Toulon	3350 »	35 kilom	$\frac{1}{5000}$		5 jours	3 »	14	35	1850
1866	Faverges	12000 »	6 triangles, 118 sommets	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	18 »	5 »	43	125	4680
»	Belfort (reconnaissance militaire)	»	»	»	»	6 heures	8 heures	6	10	»
1867	Langres	5600 »	33 sommets	$\frac{1}{5000}$	5 mètres	12 jours	3 mois	33	49	1900
»	Sainte-Marie-aux-Mines.	4500 »	18 »	$\frac{1}{5000}$	5 »	10 »	2 » $\frac{1}{2}$	31	52	1400
»	Col et vallée du Bonhomme	3500 »	52 kilom.	$\frac{1}{5000}$	5 »	3 »	1 » $\frac{1}{2}$	15	23	1450
1868 et 1869	Une partie de la plaine d'Alsace, Châtenois, Villé, Steige, Urbeis, plateau de Saales	40000 »	»	$\frac{1}{5000}$	5 »	30 »	»	79	160	7500

En 1870-71, pendant le siège de Paris, M. Javary avait relevé un grand nombre de vues des positions de l'ennemi, dont il sera question plus loin.

EXPOSÉ SOMMAIRE DES RÉSULTATS OBTENUS
EN APPLIQUANT LA PHOTOGRAPHIE A L'ÉTUDE DU TERRAIN, A GRENOBLE
ET DANS LES ENVIRONS, EN AOUT 1864.

[*Note de* **M. Laussedat**, *présentée par M. le général Morin* (1)].

« Dans sa séance du 25 juin 1860, l'Académie a bien voulu, sur le rapport de M. Laugier, accorder son approbation à la méthode que j'ai proposée pour appliquer la Photographie à l'étude du terrain.

» Quelque temps après, M. le Ministre de la guerre, à la demande du Comité des fortifications, ordonna que des expériences régulières fussent entreprises à l'effet de constater l'utilité de cette méthode.

» Ces expériences ont été exécutées en 1861 et 1862 par les officiers du Génie de la garde impériale et elles ont donné les résultats les plus satisfaisants. Toutefois les nécessités du service militaire ne permettaient pas aux officiers de la garde de poursuivre des travaux topographiques d'une grande étendue, et, depuis l'année dernière, M. le capitaine Javary, qui s'était beaucoup occupé antérieurement de Photographie, a été mis à ma disposition pour m'aider à tirer du procédé en question tout le parti possible.

» Les vues et les dessins que j'ai l'honneur de mettre sous les yeux de l'Académie sont le résultat de la dernière et de la plus complète des expériences du capitaine Javary. Ils représentent la ville et les environs de Grenoble. Les vues ont été prises au moyen de deux objectifs de distances focales différentes, $0^m,50$ et $0^m,27$.

» Le premier objectif était employé pour obtenir des images assez grandes d'objets éloignés ou dont les détails devaient être étudiés avec soin. Le second, qui avait l'avantage d'offrir un champ net de $60°$, était réservé pour les vues rapprochées.

» L'étendue totale du terrain représenté sur la carte dépasse 20^{kmq}. Cette carte est dessinée à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ et les détails nombreux qu'elle renferme ont été *entièrement*

(1) Extrait des *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. LIX, juillet-décembre 1864, p. 998 et suivantes.

déduits de *vingt-neuf vues* prises de *dix-huit stations différentes*, réparties entre deux cheminements dirigés l'un sur la rive droite et l'autre sur la rive gauche de l'Isère. Les sections horizontales sont tracées à l'équidistance de 10^m et expriment très nettement le relief si accusé des contreforts de la rive droite, dont le point culminant sur la carte n'est pas à moins de 1000^m au-dessus du niveau de l'Isère. Les sinuosités de ces courbes ont été déterminées au moyen de plus de six cents cotes calculées en combinant les distances horizontales résultant de la construction du plan avec les hauteurs apparentes évaluées sur les vues photographiées.

» Il est à remarquer, et le registre de nivellement en fait foi, que le point le plus rapproché de la station qui a servi à le construire en est distant de 940^m. Il n'y a guère qu'une dizaine de points dont la distance à la station soit inférieure à 1000^m. Le plus grand nombre est à une distance supérieure à 1500^m et il y en a qui vont jusqu'à 4500^m. Cependant la manière dont les courbes se comportent témoigne de l'exactitude de l'ensemble du nivellement, et il nous semble hors de doute qu'il serait difficile d'arriver à un semblable résultat par les autres moyens expéditifs en usage dans les reconnaissances topographiques. Les opérations sur le terrain ont duré soixante heures. Le travail de cabinet a été entièrement exécuté à Paris en moins de deux mois. »

XXII. — *Modifications suggérées par la pratique.*

Séparation des opérations. Simplification des appareils. — On vient de voir que, dès 1864, la pratique avait fait reconnaître qu'il serait préférable de n'employer qu'exceptionnellement le grand photothéodolite et de le remplacer habituellement par un appareil plus portatif, ce qui offrait à la fois l'avantage de réduire la distance focale à 0^m,27, c'est-à-dire à celle de la vue distincte et, grâce aux récents perfectionnements apportés à la construction des objectifs, celui d'accroître le champ de l'instrument qui pouvait atteindre déjà 60°, sans

déformations sensibles pour les images. M. le capitaine Javary voulut aller plus loin dans la voie de la simplification, en s'affranchissant de munir la chambre noire de tous les organes géodésiques.

« Les vues peuvent être prises avec un appareil quelconque, disait-il [1], mais il faut certaines précautions. L'opération géométrique peut se faire avec tous les moyens dont on dispose. Nous avons pensé que la méthode pourrait ainsi se généraliser et nous avons trouvé dans la séparation des deux parties de l'opération divers avantages.

. . . .

« Les deux opérations devant être effectuées séparément, ajoutait-il [2], le mieux est de faire chacune d'elles avec un instrument particulier. Du reste, si un cheminement suffit pour relier les stations dans un lever peu important, il faut employer d'autres moyens lorsque le lever embrasse une superficie un peu considérable; l'exactitude de la détermination des stations est alors d'une haute importance. »

Cette dernière observation est tout à fait naturelle et nous ne l'avions jamais perdue de vue en construisant notre première *chambre noire topographique*, autant dire le premier photothéodolite qui avait, à nos yeux, l'avantage d'éviter l'embarras de deux instruments, au lieu d'un seul, mais qui permettait parfaitement la séparation des opérations. Aussi cet instrument a-t-il conservé de nombreux partisans qui ont seulement fait varier les dispositions de sa construction. Nous ne conviendrons pas moins qu'il peut être avantageux, dans bien des cas, de se servir de l'instrument altazimutal que l'on peut avoir sous la main, pour effectuer la triangulation et le nivellement préalables, et de se contenter, pour lever les détails, d'une chambre noire ordinaire ou très simplement organisée.

---

(1) *Mémoire sur les applications de la Photographie aux arts militaires*, par M. Javary, capitaine du génie; dans le n° 22 du *Mémorial de l'Officier du Génie*, p. 369; 1870 (Paris, Gauthier-Villars).

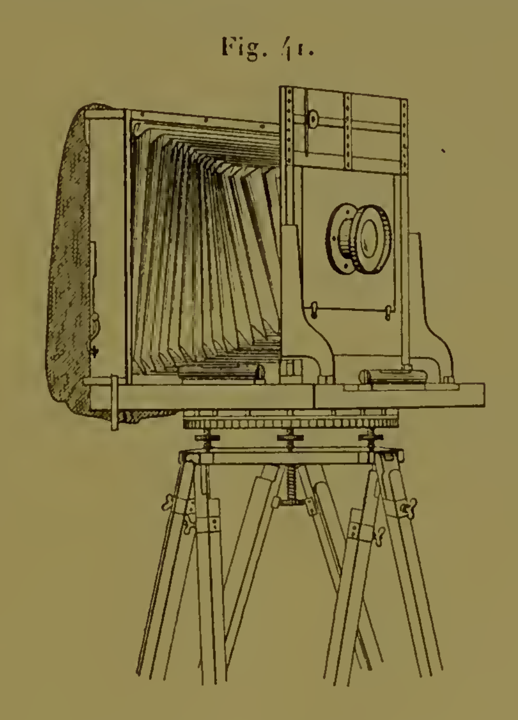
(2) *Ibid.*, p. 370.

Cette manière de voir a aussi ses partisans sur le continent et surtout de l'autre côté de l'Atlantique, notamment au Canada où l'on s'est astreint d'ailleurs à mettre la chambre noire en station avec toute la précision possible ([1]).

Nous allons mentionner succinctement le procédé indiqué par le capitaine Javary pour ceux qui, en l'absence d'appareils spéciaux, se contenteraient d'utiliser d'une part les théodolites, les tachéomètres, les boussoles nivellatrices que l'on trouve partout et les chambres noires ordinaires encore plus communes aujourd'hui.

Utilisation de la chambre noire ordinaire. — Nous donnons ici (*fig.* 41) la figure de la chambre noire à soufflet employée

Fig. 41.



par le capitaine Javary qui avait cependant jugé nécessaire, comme on le voit, de disposer le plateau de cette chambre sur une planchette de forme circulaire portée par trois vis calantes

---

([1]) Nous verrons plus loin que les appareils phototopographiques simplifiés sont généralement connus sur le continent sous le nom de *photogrammètres* pour les distinguer des *photothéodolites* qui sont les instruments complets se suffisant à eux-mêmes.

et dont la tranche était divisée grossièrement en degrés, pour orienter rapidement l'appareil, enfin de se servir de deux niveaux croisés posés sur le plateau pour opérer un calage approximatif ([1]). Mais, à la rigueur, on pourrait se contenter de la chambre noire telle qu'on la trouve dans le commerce et c'est ce que nous supposerons.

Il doit être bien entendu que, dans tous les cas, on s'arrangera de façon à rendre le plan de la glace dépolie et, par conséquent, celui de la plaque sensible aussi vertical que possible; les épreuves positives étant ainsi obtenues, voici les moyens à employer pour déterminer :

1° La distance *effective* du point de vue au tableau, la distance focale de l'objectif pouvant être altérée par le retrait ou l'allongement du papier ([2]);

2° La ligne d'horizon qui doit être tracée sur chacune des épreuves.

Il sera toujours facile de faire disposer dans une chambre noire quelconque les quatre aiguilles que nous avons employées dans notre photothéodolite et qui ont été universellement adoptées pour déterminer la ligne d'horizon et le point principal de la perspective sur chaque épreuve. Seulement, la mise en station de cette chambre noire n'étant pas rigoureuse, les indications des quatre aiguilles ne seront elles-mêmes qu'approximatives; il y a donc lieu de les rectifier en même temps que l'on vérifie la distance focale ou plutôt que l'on détermine la distance du point de vue au tableau. Pour cela, il suffit, à chaque station, de mesurer, à l'aide du théodolite ou de l'éclimètre de la boussole, deux ou trois angles de pente de points bien reconnaissables, répartis dans le champ de l'appareil convenablement disposé, et de lire en même temps les angles horizontaux correspondant aux directions des mêmes points.

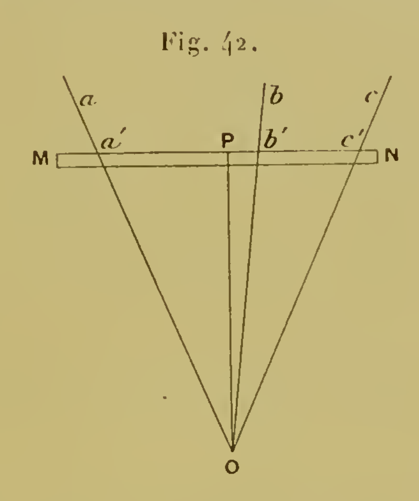
([1]) On remarquera aussi sur cette figure le dispositif de la planchette verticale porte-objectif à coulisse qui permet le déplacement dont il a été question page 27.

([2]) Nous ne conseillons pas moins de déterminer la distance focale de l'objectif, qui devrait être inscrite sur tous les appareils. Il ne faut pas s'exagérer d'ailleurs l'importance des altérations produites par l'emploi du papier et l'on a les moyens de s'en rendre compte et de corriger la distance focale.

En comparant les données de l'épreuve sur laquelle la ligne d'horizon est tracée fautivement, mais avec une approximation suffisante pour que l'on y puisse projeter les images des points visés, et les angles horizontaux correspondants rapportés graphiquement sur une feuille de dessin, on arrive très rapidement à la rectification cherchée en même temps que la grandeur de la distance du point de vue au tableau se trouve obtenue spontanément.

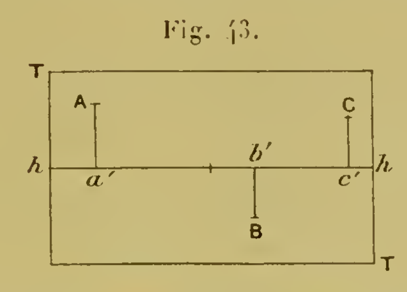
Soient O*a*, O*b*, O*c* (*fig.* 42), les lignes partant du point de vue O et formant les angles *a*O*b* et *a*O*c* ou *b*O*c* mesurés sur

Fig. 42.



le cercle azimutal du photothéodolite (ou sur le limbe de la boussole); sur l'épreuve TT (*fig.* 43) où les points visés sont

Fig. 43.



représentés en A, B, C, abaissons de ces points les perpendiculaires A*a'*, B*b'*, C*c'* sur la ligne d'horizon provisoire *hh*, puis relevons sur le bord d'une bande de papier pliée qui forme une excellente règle en ligne droite les points *a'*, *b'*, *c'* et présentons ce bord transversalement au faisceau O*a*, O*b*, O*c* de la *fig.* 42; nous arriverons très rapidement à trouver la position

MN de cette bande de papier dans laquelle les intervalles $a'b'$ et $b'c'$ seront interceptés par les lignes Oa, Ob, Oc.

Avec les distances Oa' Ob' et Oc' mesurées en millimètres et fractions de millimètre et les angles lus sur le cercle vertical α, β et γ, on calculera les véritables distances

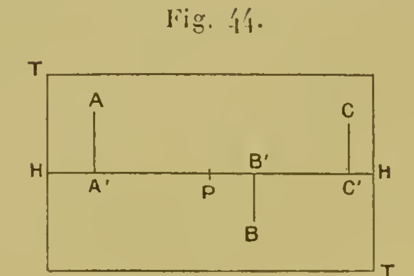
$$AA' = Oa' \operatorname{tang}\alpha, \qquad BB' = Ob' \operatorname{tang}\beta$$

et

$$CC' = Oc' \operatorname{tang}\gamma$$

que l'on portera sur l'épreuve TT (*fig.* 44) et l'on tracera,

Fig. 44.



d'après elles, la ligne d'horizon corrigée HH qui devra passer par les trois points A', B' et C'.

Quant à la distance du point de vue au tableau, elle est évidemment égale à la longueur OP de la perpendiculaire abaissée du point de vue O sur MN.

XXIII. — *Détails d'exécution pour la construction des plans.*

Le principe de la construction d'un plan à l'aide de plusieurs perspectives combinées deux à deux est si simple (§§ I et II) qu'il semble à peine nécessaire d'insister sur les détails d'exécution. Nous allons cependant donner quelques indications complémentaires destinées à faciliter et à accélérer le travail dans le cabinet.

Il est bien entendu que tout ce qui se rapporte à la triangulation (y compris la mesure d'une ou de plusieurs bases) ou au canevas général comprenant les cheminements qui relient les

stations photographiques et les rattachements des *stations isolées* [1] à l'un au moins des sommets de ce canevas, doit avoir été exécuté préalablement avec le plus grand soin sur la feuille de dessin. Nous n'avons sans doute pas besoin de revenir, à ce sujet, sur des notions familières à tous les topographes, nous réservant d'examiner dans un autre paragraphe les considérations d'après lesquelles on doit se guider pour choisir les sommets de la triangulation ou des cheminements et les stations isolées.

Nous supposons également, d'un autre côté, que l'opérateur ayant relevé sur son carnet les angles nécessaires pour l'orientation de l'*axe* de chacune des épreuves prises aux différentes stations, les traces des plans de ces épreuves, c'est-à-dire des tableaux verticaux des différentes perspectives, sont rapportées sur la feuille de dessin. On n'emploie, en effet, que les traces des perspectives, et si, pour la démonstration, nous avons eu recours au rabattement des perspectives elles-mêmes dessinées ou photographiées, en les déplaçant d'ailleurs pour éviter les superpositions [2], on devine aisément qu'il deviendrait impossible de disposer sans confusion des épreuves nombreuses sur la même feuille de dessin.

Admettons donc que toutes les opérations précédentes ont été effectuées et considérons deux épreuves prises de stations voisines dans des conditions telles qu'elles renferment évidemment des parties communes du terrain à étudier; le premier soin de l'opérateur, et c'est la partie la plus délicate de sa tâche, sera de reconnaître, d'identifier les mêmes objets considérés comme autant de signaux naturels, les mêmes points tels que les angles d'un champ, d'un bois, d'une route, d'un sentier, des bords d'une pièce d'eau ou d'un ruisseau, la même arête d'une maison, d'un rocher, dans les hautes montagnes, les angles rentrants ou saillants des glaciers, des bords des champs de neige, et partout des changements de

---

[1] On verra plus loin l'importance de ces stations que nous qualifions d'isolées.

[2] C'était ce que nous avions fait tout d'abord pour la reconnaissance du fort de Vincennes (§ II) et pour celle du village de Buc, cette dernière comportant en tout huit photographies.

teintes du sol dus à la nature de la végétation, du terrain lui-même ou de ce qui le recouvre.

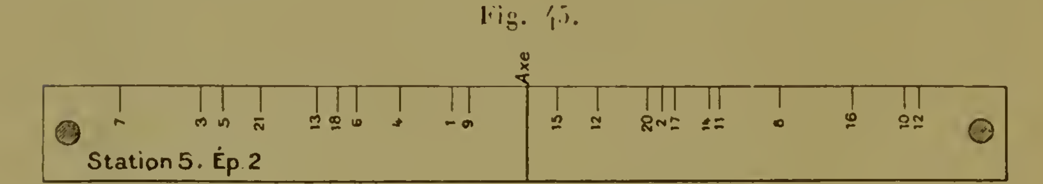
Ici nous laissons la parole à M. le commandant Javary qui, après une pratique continue de huit années, avait résumé ses observations dans le Mémoire déjà cité :

« On doit prendre, dit-il, les points par séries, suivant les cours d'eau, les chemins, les groupes de maisons, les limites des bois; on en répartit ensuite un certain nombre sur le terrain, autant que possible sur les crêtes, les thalwegs, les changements de pente. Les premiers servent à la planimétrie et pour le nivellement; les seconds servent seulement pour le nivellement. Les points qu'on marque ainsi sont des arbres, des arbustes, des limites de culture, des pierres, mille objets que l'on serait quelquefois embarrassé de nommer, mais qu'on voit clairement sur les deux épreuves ([1]). »

Cette confrontation achevée sur les deux épreuves considérées — et rien n'empêche de l'étendre plus tard à d'autres points que l'on aurait négligés dans une première ébauche, — on projette tous ceux qui sont numérotés sur les lignes d'horizon, puis en se servant de bandes de papier pliées de la longueur de ces lignes d'horizon, on relève avec soin les pieds des perpendiculaires sur le bord de chaque bande, en inscrivant à côté le numéro correspondant.

La *fig.* 45 représente une de ces bandes sur laquelle se

Fig. 45.



trouvent indiqués en outre l'axe de l'épreuve, c'est-à-dire le point principal de la perspective, le numéro de la station et celui de l'épreuve. Chacune de ces bandes est alors portée

---

([1]) Nous n'avons pas besoin de rappeler que le commandant Javary a partout opéré dans des pays très civilisés et à des altitudes moyennes, mais il est aisé d'étendre les indications qu'il donne à toutes les autres contrées.

sur la feuille de dessin le long de la trace du tableau de l'épreuve indiquée, et, après avoir établi la coïncidence des points principaux, on la fixe au moyen de pointes à tête plate appliquées à ses deux extrémités (*punaises* des dessinateurs).

Cela fait, il ne reste évidemment plus qu'à chercher, sur les deux bandes, le même numéro et à tracer deux lignes allant aux stations correspondantes dont l'intersection donne le point du plan qui portera le même numéro. Au lieu de tracer les lignes de construction qui fatigueraient et encombreraient le dessin, on se sert avantageusement de fils attachés à une aiguille piquée à chaque point de station, que l'on tend en les faisant passer successivement par les points portant, deux à deux, le même numéro d'ordre, et l'on n'a qu'à marquer leurs points d'intersection sur le dessin.

Planimétrie. — Il n'y a pas lieu d'entrer dans beaucoup de détails relativement au tracé de la planimétrie. Il va de soi que l'on doit s'attacher à obtenir en premier lieu les lignes principales qui en forment pour ainsi dire le canevas, c'est-à-dire les routes, chemins, cours d'eau, groupes d'habitations, murs de parcs ou de grandes enceintes, limites des bois et des cultures bien accentuées, etc. Quant à la marche à suivre pour se reconnaître au milieu des points rapportés, qu'il vaut mieux ne pas trop multiplier en commençant et dont le numérotage systématique auquel il a été fait allusion antérieurement sert de fil conducteur, il faut convenir qu'elle exige un certain apprentissage; mais nous nous hâtons d'ajouter que ceux qui prennent la peine de s'y livrer ne tardent pas à sentir qu'ils n'ont, pour ainsi dire, qu'à se laisser guider par la confrontation incessante des photographies.

Nous pouvons affirmer personnellement que, dès nos premiers essais faits avec les vues dessinées à la chambre claire et, à plus forte raison, avec des vues photographiées, nous avons prévu la satisfaction, nous allions dire le plaisir qu'éprouveraient par la suite ceux qui se livreraient résolûment à ce genre d'opérations.

Nivellement et tracé des courbes. — Le nivellement com-

porte deux phases ou même deux opérations distinctes; la première, de beaucoup la plus simple, consiste dans le calcul des côtés des différents points rapportés sur le plan et peut être confiée à un aide (1); la seconde, ayant pour objet la représentation conventionnelle du relief du sol par des courbes de niveau équidistantes, exige, au contraire, la participation attentive de l'ingénieur topographe qui ne se contente pas de consulter les deux épreuves combinées que nous avons supposées, mais toutes celles sur lesquelles se trouvent représentées les mêmes parties du terrain et dont il a dû s'aider, dans bien des cas, pour le tracé de la planimétrie.

La *Pl. XIII*, qui est une réduction, à l'échelle de $\frac{1}{10000}$, du plan de Sainte-Marie-aux-Mines levé photographiquement et dessiné à l'échelle de $\frac{1}{5000}$ en 1867 par M. le capitaine Javary aidé de M. Galibardy, garde du génie, est un spécimen destiné à donner une idée de l'importance des résultats auxquels on était parvenu en France dès cette époque.

---

(1) On a cherché et proposé différents procédés pour simplifier autant que possible ces calculs; nous les ferons connaître dans le Chapitre suivant et nous nous bornerons ici à rappeler que les différences de niveau de l'axe optique de l'appareil et des différents points considérés s'obtiennent par une quatrième proportionnelle x après avoir mesuré pour chaque point :

1° Sa distance à la station sur le dessin et à l'échelle de ce dessin, D;

2° La distance en millimètres de la station à la projection de la perspective du point sur la ligne d'horizon, toujours sur le dessin, d;

3° Enfin la hauteur apparente positive ou négative, c'est-à-dire au-dessus ou au-dessous de la ligne d'horizon, en millimètres, sur l'épreuve photographique, h.

Ainsi

$$x = \frac{h\,\mathrm{D}}{d}.$$

Ces différents éléments sont inscrits dans les colonnes d'un registre dont voici la forme :

NUMÉROS des points.	STATION.	ÉPREUVE.	h.	d.	D.	DIFFÉRENCE de niveau.	ALTITUDE de la station augmentée de la hauteur de l'axe de l'appareil.	ALTITUDE du point.	OBSERVATIONS.

Nous rappelons que la surface du terrain ainsi exploré comprenait 4500 hectares, que le travail extérieur avait duré dix jours seulement, triangulation et mesure d'une base comprises, et la rédaction faite à Paris deux mois et demi, enfin que le nombre des sommets de la triangulation (*voy.* le plan) était de dix-huit et celui des stations supplémentaires de onze. Celui des épreuves était en tout de cinquante-deux, ce qui montre bien que les tours d'horizon sont rarement utiles, puisque cela ne fait pas même en moyenne deux épreuves par station.

Les six vues conjuguées deux à deux (*Pl. XIV*), prises parmi les cinquante-deux épreuves, témoignent, de leur côté, à la fois de la qualité des objectifs dont on pouvait déjà disposer et de l'habileté de l'opérateur. Cela répond à certaines insinuations d'un auteur étranger faites, il y a quelques années, mais qui ne se sont plus reproduites depuis que nous avons averti qu'il nous serait facile de rendre le public juge en rapprochant nos épreuves de celles de l'auteur qui ont été publiées et surtout des restitutions de plans de ce même auteur.

XXIV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer. Instruments proposés selon ces circonstances.*

La Photographie, nous en sommes persuadé aujourd'hui, peut être utilisée à peu près dans toutes les circonstances où l'on a besoin de reconnaître ou d'étudier le terrain, aussi bien pour des levers réguliers et détaillés que pour de simples reconnaissances. Il n'y a lieu de faire de réserve que pour les grandes plaines et les terrains couverts ([1]); mais partout où les ondulations du sol permettent de trouver des stations d'où l'on découvre bien le pays, la méthode peut s'appliquer avantageusement et il y a des cas où elle devient en quelque

([1]) A moins de recourir aux stations aériennes, c'est-à-dire d'employer les ballons ou les cerfs-volants, ce qui n'est pas, nous le savons, sans présenter d'assez sérieuses difficultés.

sorte la seule qui soit praticable. Nous en citerons des exemples nombreux.

Les premières échelles que nous avons employées étaient celles de $\frac{1}{1000}$, de $\frac{1}{2000}$ et de $\frac{1}{5000}$, mais nous sommes descendus à celles de $\frac{1}{10000}$ et de $\frac{1}{20000}$ et d'autres ont opéré depuis nous, avec succès, à des échelles encore moindres.

Sans essayer d'énumérer toutes les circonstances possibles, nous les classerons dans les cinq catégories suivantes :

1° Lever régulier, à une assez grande échelle, de $\frac{1}{2000}$ à $\frac{1}{10000}$, d'un territoire d'une étendue de quelques kilomètres carrés;

2° Lever régulier, à une petite échelle, de $\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{50000}$, d'un territoire d'une assez grande étendue;

3° Étude topographique plus au moins détaillée, aux échelles de $\frac{1}{10000}$, de $\frac{1}{20000}$ et au-dessous, pour l'établissement d'un projet ou d'un avant-projet de route, de canal, de chemin de fer, de drainage, d'irrigations, etc.;

4° Reconnaissances militaires en campagne (levers d'itinéraires, exploration des abords d'une place pour l'attaque ou pour la défense), aux échelles de $\frac{1}{10000}$ ou de $\frac{1}{20000}$;

5° Reconnaissances en pays inconnus ou peu connus (par des explorateurs), aux échelles supposées de $\frac{1}{20000}$ à $\frac{1}{50000}$ (¹) et souvent au-dessous.

Levers réguliers. — Dans les deux premiers cas, indépendamment de la mesure d'une base dont la longueur peut varier de 500^{m} à 1000^{m} pour le premier, mais qui doit être de plusieurs kilomètres pour le second, il faut procéder à une triangulation dont la longueur des côtés dépend à la fois de la grandeur de l'échelle et de la facilité plus ou moins grande que l'on rencontre à découvrir le terrain dans toute son étendue. Le choix des stations successives est évidemment

---

(¹) Nous n'avons eu l'intention de nous occuper ici que des études et des reconnaissances faites à terre, mais il sera facile de prévoir d'après cela le parti que l'on peut tirer de la Photographie pour la reconnaissance des côtes. La méthode des perspectives due au plus célèbre des ingénieurs hydrographes français ne saurait rester encore bien longtemps indifférente à ses successeurs.

l'une des tâches les plus délicates à accomplir, si bien que, dans certains pays, mais seulement pour le second cas, on a jugé avantageux de séparer le rôle du triangulateur de celui du photographe, qui ne doit pas moins avoir lui-même l'œil très exercé et être un excellent topographe, car il a non seulement à choisir, de son côté, des stations *isolées*, disons plutôt *supplémentaires*, mais à se rendre compte incessamment de la valeur des documents de toute nature qu'il recueille, chemin faisant, avec la préoccupation de ne rien omettre d'essentiel pour n'avoir pas à revenir sur les lieux, ce qui bien souvent occasionnerait de grands frais et de grandes pertes de temps.

Les stations supplémentaires, on le devine, ont pour objet de permettre de fouiller les parties plus ou moins masquées du terrain qui ne sont pas aperçues des sommets de la triangulation. Dans les pays de collines et à plus forte raison dans les montagnes, ces sommets sont habituellement situés sur des points élevés, dômes, plateaux, crêtes ou arêtes, d'où l'on découvre mieux les surfaces un peu éloignées que les fonds des vallées, vallons ou ravins les plus rapprochés.

On ne peut donc pas généralement se contenter des vues prises de ces seules stations triangulées, et l'opérateur, après avoir reconnu, estimé les lacunes qu'elles pourraient laisser subsister [appréciation délicate entre toutes, car, en allant d'une station à une autre, il n'emporte que des souvenirs et des épreuves non révélées (1)], change de place et, tout en faisant souvent plusieurs stations supplémentaires qu'il doit rattacher à la station triangulée la plus voisine, ne parvient pas toujours à combler toutes ces lacunes.

Il peut donc devenir nécessaire, dans certains cas, d'exécuter quelques levers partiels par les méthodes ordinaires pour ne laisser échapper aucun détail important.

Il est clair d'ailleurs que les instruments à employer dans les deux cas dont il s'agit ne doivent différer, tout au plus, que par le degré de précision de leurs organes, mais selon la con-

(1) On ne désespère pas aujourd'hui de pouvoir révéler les épreuves en quelque sorte au fur et à mesure qu'on les obtiendra sur le terrain.

venance des opérateurs, les triangulations pourront être effectuées et les épreuves obtenues successivement avec un photothéodolite complet et unique, ou bien les premières le seront avec un instrument altazimutal indépendant et les autres avec un photogrammètre.

Étude topographique détaillée pour l'établissement du projet d'une voie de communication. — Les études à entreprendre pour établir le projet ou l'avant-projet d'une voie de communication comportent également une triangulation avec d'assez grands côtés, qui s'étend surtout dans un sens, c'est-à-dire sous la forme d'une chaîne plus ou moins large suivant la direction générale de la voie projetée. Nous estimons que, dans ce cas, le photothéodolite muni, comme nous l'expliquerons ci-après, d'un déclinatoire et d'une lunette micrométrique, est tout à fait indiqué.

L'opérateur, indépendamment des sommets des triangles, aura, en effet, un assez grand nombre de stations supplémentaires à déterminer et à rectifier; il pourra ou plutôt il devra souvent exécuter, dans ce but, des cheminements composés de plusieurs côtés, s'étendant à droite et à gauche de la chaîne, mais partant toujours d'un sommet triangulé pour se fermer sur un autre; d'où l'utilité indispensable du déclinatoire et de la lunette stadimétrique avec sa stadia.

Il est sans doute inutile d'ajouter qu'en exécutant ces cheminements et toutes les fois que l'une des stations s'y prête, on doit prendre des photographies, ce qui justifie le conseil que nous donnons de faire usage d'un photothéodolite.

XXV. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer (suite).*

Reconnaissances militaires. — M. le commandant Javary, qui a exécuté lui-même plusieurs levers d'itinéraires par la méthode photographique et qui a eu à exercer des brigades d'officiers à des opérations analogues, estime que pour bien réussir il est avantageux d'y faire concourir trois opé-

rateurs. Nous citerons textuellement, à ce propos, le passage suivant de son Mémoire ([1]) :

« Trois opérateurs sont alors nécessaires, un géomètre et deux photographes. Le premier chemine sur une route et ne s'occupe que des opérations géométriques; un photographe marche parallèlement à lui, sur sa droite, muni d'un appareil léger et de petite dimension, et fait les vues nécessaires à la construction du terrain de droite; il porte avec lui une boussole et une stadia. A chaque station, il tourne la stadia vers le géomètre qui vise sa direction et prend la distance. Lui-même observe à la boussole les angles nécessaires à l'orientation de ses épreuves. Le second photographe fait la même opération à gauche. Quelques signaux très simples ont été convenus par avance, afin que toutes les observations nécessaires soient faites. Un lever de ce genre ne comportant pas une grande précision, on doit faire un petit nombre d'épreuves et le travail marche très vite. Le géomètre a soin de viser lui-même sur quelques points bien reconnaissables pour assurer de temps en temps l'orientement des épreuves et rectifier les petites erreurs.

» Nous avons fait deux reconnaissances de ce genre : la première dans la vallée d'Orsay, entre Palaiseau et Orsay; le développement était de 8^{km} seulement, mais nous devions aller successivement faire toutes les opérations, puisqu'il n'y avait qu'un opérateur. La seconde fut faite dans la vallée de l'Arly, entre Faverges et Albertville (Savoie); nous avons obtenu une bonne reconnaissance, effectuée en une journée de travail sur 23^{km} de développement. Le terrain représenté (l'auteur dit *construit*) s'étendait en quelques points jusqu'à 2^{km} à droite et à gauche du développement central. C'est la méthode qu'il convient de suivre dans les reconnaissances des pays pour lesquels on n'a pas de cartes et elle peut donner des résultats considérables si l'on a soin de faire le cheminement central avec quelque précision. »

([1]) *Mémoire sur les applications de la Photographie aux arts militaires*, dans le *Mémorial de l'Officier du Génie*, n° 22, 1874; p. 391 et suivantes.

Reconnaissance d'une place forte en vue d'un siège. — Nous rapprocherons ce genre de reconnaissance du précédent et nous emprunterons encore au capitaine Javary les détails qu'il donne dans son Mémoire sur des expériences faites par lui en 1866 :

« Voici, dit-il, comment il convient d'opérer : on fait un polygone loin de tout danger; ce polygone peut être l'enveloppe que l'on construit toujours dans un siège pour appuyer les levers; et des divers sommets de ce polygone on vise les points choisis pour servir de stations photographiques. Il suffit que ces stations soient hors de la portée des armes portatives pour qu'on puisse prendre le temps d'y mettre en station une chambre noire qu'on pourra souvent dissimuler, soit derrière des arbres ou arbustes, soit derrière des décombres, soit derrière un bout de tranchée. Il n'y aura jamais qu'une épreuve à faire et l'on fera une courte pose. D'ailleurs, lorsqu'on trouvera, à des distances de 2000^m, 2500^m, des points favorables, on prendra un objectif à foyer plus long et l'on opérera tout à son aise.

» Ces épreuves prises dans un temps très court permettront de construire tous les détails de la place.

» Nous avons fait, à Belfort, en 1866, une école de ce genre avec une brigade d'officiers du 2e régiment (du Génie) sous la direction du commandant Servel. Nous nous sommes servi, pour rattacher nos stations, de l'enveloppe tracée par les officiers de la brigade; notre travail extérieur a duré six heures; la rédaction a demandé huit heures, après lesquelles nous avons remis au commandant Servel un lever *exact, complet, nivelé* de toute la partie visible de la fortification intéressant les attaques et le terrain en avant jusqu'à 1200^m environ. Le temps était si mauvais que nous avions des poses de trente minutes, sous la pluie, ce qui a retardé notre travail [1].

---

[1] Nous n'avons rien voulu changer à cette citation qui, en raison de la date de l'expérience dont il s'agit, présente le plus grand intérêt. L'expérience faite en 1861 devant le Mont-Valérien par les officiers de la division du Génie de la garde n'avait pas été moins concluante, mais elle avait duré davantage, quoique le temps eût été des plus favorables. Nous

« Nous avons répété à Paris, ajoute l'auteur, plusieurs années de suite, avec les officiers envoyés des régiments, des levers du même genre, et nous pouvons affirmer que le lever d'une place forte ordinaire, entrepris avec quatre opérateurs, pourrait être terminé et dessiné dans l'espace de vingt-quatre heures. »

M. le capitaine Javary faisait encore observer que, pour la rédaction du plan, on pouvait employer plusieurs sous-officiers auxquels on apprend très vite les petites opérations de la construction et il ajoutait qu'en reportant le dessin sur une pierre lithographique (on dirait aujourd'hui sur une planche de zinc), on aurait le moyen de reproduire autant d'exemplaires qu'il en faudrait pour tous les chefs de service ; enfin, il ne manquait pas de faire ressortir la très grande utilité des vues elles-mêmes pour compléter l'intelligence du dessin et faciliter les explications et les instructions que les commandants supérieurs auraient à donner à leurs subordonnés ([1]).

Défense des places. — « La défense d'une place doit aussi réclamer le concours du lever photographique ([2]).

» On se place aux saillants de la fortification, dans les principales batteries, et l'on fait de ces positions des vues du terrain à battre. Le plan de la place sert à relier ces stations entre elles ; on construit tous les points qui peuvent servir de repères pour le tir de l'artillerie; on mesure leurs distances aux saillants des batteries et l'on inscrit ces distances sur les épreuves elles-mêmes, à côté des points; ces épreuves, ainsi

---

reviendrons un peu plus loin sur les conditions nouvelles imposées par la portée des armes à feu et, d'un autre côté, sur les ressources fournies par les progrès de la Photographie.

([1]) Il nous est impossible, en mentionnant ainsi les résultats vraiment remarquables auxquels nous étions parvenus en France à une époque où dans aucun autre pays on ne se doutait de la fécondité de la méthode photographique (il serait même plus exact de dire que l'on ne s'y doutait même pas de l'existence de la méthode à peine entrevue en Prusse et seulement depuis 1865), il est impossible, disons-nous, de ne pas regretter et condamner une fois de plus la conduite de ceux qui ont pris la responsabilité de faire supprimer en 1871 la brigade Javary. L'alinéa suivant du texte ne fera que donner plus de poids à cette amère réflexion.

([2]) Même Mémoire du capitaine Javary, p. 393.

cotées, seront remises aux chefs de pièce. Or, il faut remarquer que ces vues ne peuvent être prises d'avance parce qu'on doit supposer que l'on fera au dernier moment les démolitions qui changeront l'aspect du terrain ([1]).

» Nous avons fait ce travail pendant la première période du siège de Paris. Nous avons pris des saillants des forts 130 épreuves, au moyen desquelles nous avons construit 3200 points dont les distances ont été inscrites sur les vues elles-mêmes ([2]). »

Il est peut-être inutile d'indiquer les instruments que l'on conseille pour les reconnaissances militaires de toute nature, car on sera le plus souvent obligé de se servir de ceux que l'on aura sous la main et d'en tirer le meilleur parti.

On a vu cependant que M. Javary recommandait pour les levers d'itinéraire une boussole nivellatrice avec lunette stadimétrique pour le géomètre et une petite chambre noire (ordinaire mais bien manœuvrée) pour chacun des aides photographes qui porte en outre une stadia.

Pour la reconnaissance d'une place forte en vue d'un siège,

([1]) Il est bien certain que, toutes les fois qu'on le pourra, il conviendra de faire ou de refaire des vues du terrain à battre au moment où la place est assiégée; mais il ne serait pas moins souvent très utile d'en avoir fait d'avance, par exemple dans les forts isolés et, en particulier, dans les pays de montagnes où les ressources photographiques et les photographes eux-mêmes pourraient manquer au moment où l'on en aurait besoin.

D'ailleurs, nous pensons depuis longtemps que partout il serait précieux d'avoir, à côté de la carte topographique, des vues panoramiques exécutées soit avec le télémétrographe, soit avec des appareils téléphotographiques, sur lesquelles on inscrirait à l'avance toutes les indications de nature à aider les officiers chargés de la défense et les artilleurs en particulier à faire les identifications nécessaires. Nous avons eu déjà l'occasion d'exprimer cette opinion.

([2]) Ces vues, qui n'ont d'ailleurs peut-être pas été assez répandues, ont été utilisées par quelques rares officiers d'artillerie, mais on avait de la peine à engager les autres à s'en servir, et le commandement en faisait assez peu de cas, comme de tous les renseignements graphiques analogues, parce que cela ne figurait nulle part dans les instructions réglementaires. Il est probable cependant qu'à l'avenir, la Photographie et ses applications étant devenues familières à tout le monde, on ne rencontrerait plus la même résistance.

Nous avons retrouvé l'une des vues prises par le capitaine Javary de l'observatoire militaire de Montmartre (maison du Dr Gruby) et nous la reproduisons à titre de spécimen (*Pl. XV*)

nous pensons que les instruments de petites dimensions faciles à dissimuler devront être utilisés, mais seulement quand on pourra s'approcher, à moins, si cela devenait impossible, de s'astreindre à faire des agrandissements. Or, en effet, en raison de l'accroissement continu de la portée des armes à feu, on sera dorénavant obligé en général d'opérer de loin et il conviendra alors d'employer non seulement des objectifs à long foyer mais des téléobjectifs qui ont d'ailleurs commencé à pénétrer dans le matériel du service du Génie.

Pour les reconnaissances faites par les défenseurs d'une place assiégée, nous renvoyons à tout ce que nous avons dit et à ce que nous disons plus loin dans un Appendice à propos de la défense de Paris.

XXVI. — *Circonstances diverses dans lesquelles on peut avoir à opérer* (*suite*).

Reconnaissances faites pendant les voyages d'exploration. — Ces reconnaissances ne sont autre chose que des levers d'itinéraire et la méthode indiquée par M. Javary serait, à coup sûr, la meilleure à conseiller si elle pouvait être toujours pratiquée. Mais le plus souvent l'explorateur doit opérer seul ou avec des aides auxquels il ne saurait rien demander de plus que de porter ses instruments et à peine de tenir verticalement une stadia. Il est d'ailleurs impossible de prévoir les moyens dont il dispose pour évaluer les distances parcourues et relever les positions relatives des stations qu'il est obligé de beaucoup espacer, en recourant de temps en temps, comme on sait, aux observations astronomiques pour déterminer les positions géographiques de quelques-unes de ces stations. Dans ces conditions, la Photographie, aussi bien que le dessin du paysage, doit être considérée surtout comme destinée à illustrer les itinéraires, à rectifier, selon l'expression de Beautemps-Beaupré, les erreurs occasionnées par les renseignements que donnent les guides, et c'est déjà un très grand service qu'elle est appelée à rendre.

Il en est autrement et l'utilité de la Photographie reprend son importance quand l'explorateur peut séjourner pendant un certain temps dans une contrée encore peu connue et dont il convient d'étudier la topographie. Tel est le cas, par exemple, de nos résidents civils ou militaires dans les colonies. En procédant par des itinéraires tracés systématiquement, l'opérateur pourra, si le pays est assez découvert et son relief suffisamment accidenté, réunir en peu de temps tous les éléments nécessaires pour construire une carte déjà très détaillée. Il serait inutile de préciser la méthode que devra suivre cet opérateur, car elle dépendra des ressources en personnel et en matériel dont il pourra disposer. Nous avons cru, toutefois, bien faire en cherchant à construire un photothéodolite spécial, destiné aux explorateurs, décomposable en un théodolite à lunette centrale pour déterminer les positions géographiques et une simple chambre noire si l'on veut l'utiliser dans les études ethnographiques. En reconstituant l'instrument par la réunion des deux parties que nous venons d'indiquer, on a tout ce qu'il faut pour effectuer les levers phototopographiques, soit que l'on veuille exécuter des triangulations préalables, ce que l'on peut faire avec le théodolite seul, soit que l'on opère par cheminement, et, dans ce cas, le photothéodolite complet devient indispensable.

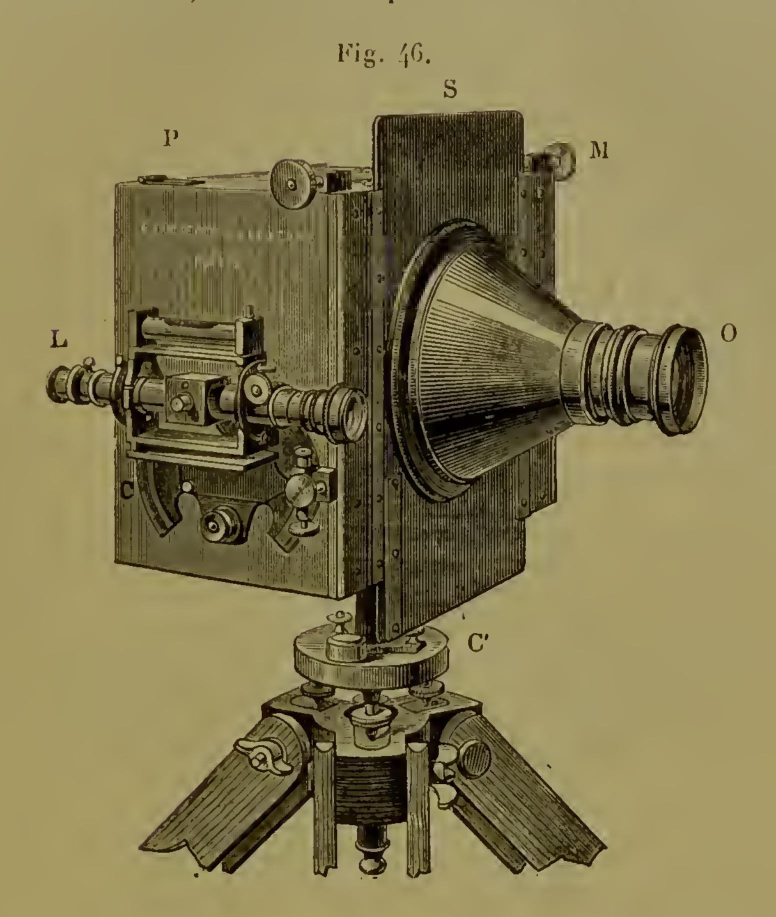
XXVII. — *Disposition générale et destination des instruments proposés.*

Les instruments, presque tous récemment exécutés, dont nous allons donner une description sommaire, nous ont été demandés par des correspondants qui se trouvaient dans des conditions souvent très différentes et aux besoins desquels nous nous sommes efforcé de répondre : ingénieurs, militaires, explorateurs.

Grand photothéodolite donnant des épreuves du format 18×24 *immédiatement utilisables.* — Cet instrument destiné aux ingénieurs qui ont à opérer dans des pays modé-

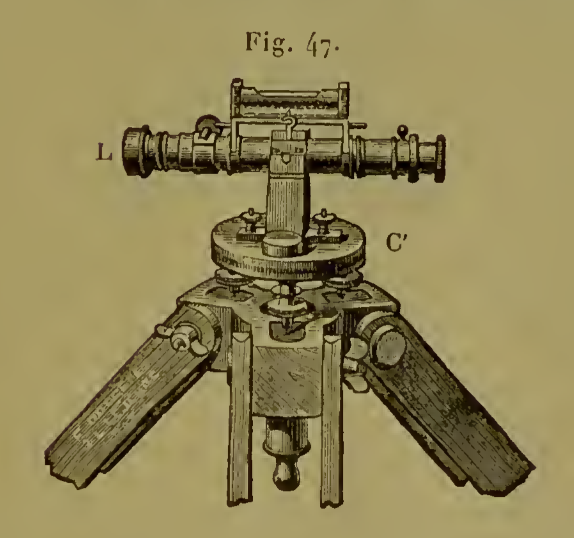
rément accidentés, où le transport du matériel est facile, se

Fig. 46.



compose (*fig.* 46, 47 et 48) d'une chambre noire dont la

Fig. 47.

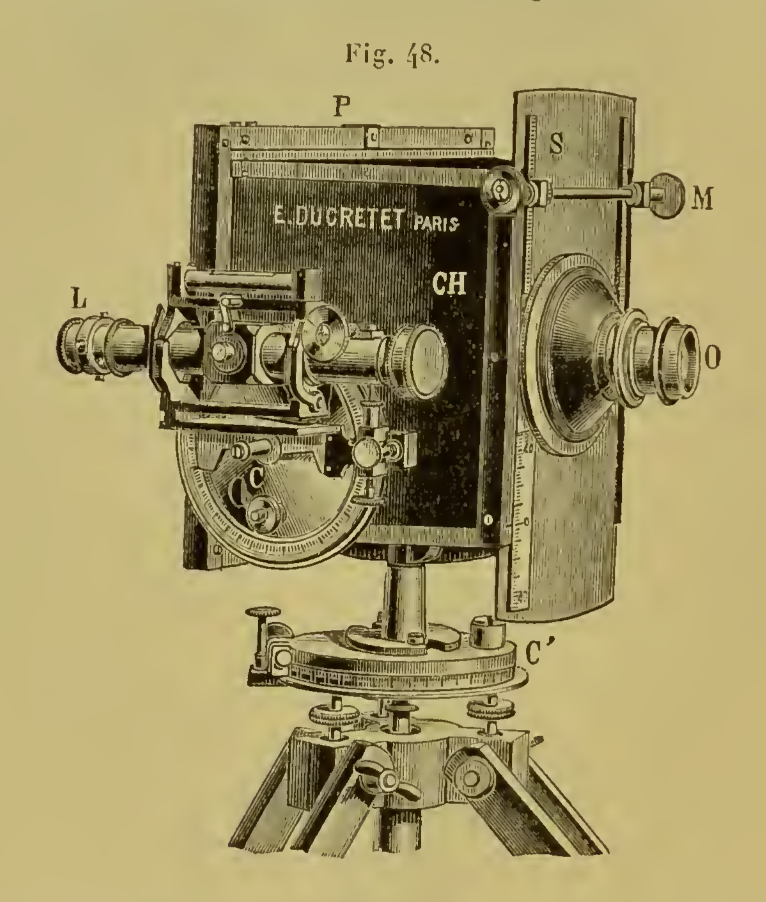


moitié postérieure est formée d'une caisse rigide sur l'une des

faces de laquelle se trouvent la lunette stadimétrique L (*fig.* 46 et 47) et l'éclimètre C, la face opposée portant le déclinatoire et un viseur dont l'ensemble fait contrepoids au système de la lunette et de l'éclimètre.

La moitié antérieure de forme tronconique est le porte-objectif O; elle est en bronze d'aluminium, et se visse dans les deux sens, sur la platine à coulisse S [1] qui permet d'élever ou d'abaisser l'axe optique, la face correspondante de la chambre noire proprement dite étant garnie, à cet effet, de

Fig. 48.



deux coulisseaux. Sur l'un de ceux-ci il y a une division en millimètres en face de laquelle glissent un index et un vernier

(1) Pour ne pas interrompre la description de l'instrument, nous indiquons seulement en note que cette platine à coulisse porte, en effet, deux pas de vis en écrous, l'un extérieur et l'autre intérieur, et que le porte-objectif vissé du côté intérieur se loge ainsi dans l'autre moitié de la chambre noire de forme parallélépipède pour faciliter l'emmagasinage et le transport.

tracés sur la coulisse (ou inversement). Cette coulisse porte en outre en arrière des crémaillères qui engrènent avec un long pignon, terminé à ses deux extrémités par des boutons molletés M sur lesquels on agit quand on veut faire monter ou descendre l'objectif.

Enfin, le cercle azimutal C′ avec ses trois vis à caler, qui reposent elles-mêmes sur un pied à trois branches, porte en son centre un axe vertical plein sur lequel s'engage et s'arrête par un mouvement de baïonnette la douille de la chambre noire avec tous ses accessoires; ou bien, si l'on veut faire une triangulation ou un nivellement par visées horizontales, sans s'embarrasser de la chambre noire, la lunette et son niveau à bulle d'air peuvent être placés seuls sur cet axe du cercle azimutal (*fig.* 47).

Le premier modèle (*fig.* 46) de ce photothéodolite avait été prêté à M. le commandant Delcroix, chef du Service topographique à Madagascar; cet officier s'en est servi et il l'a rapporté intact, mais il n'a pas moins conseillé, pour les climats intertropicaux, de construire la chambre noire entièrement en métal, et c'est ce qui a été fait dans le modèle *fig.* 48.

Photothéodolite moyen. — Plusieurs ingénieurs ayant demandé que le volume et le poids de l'appareil fussent réduits, le constructeur a exécuté un instrument, d'ailleurs en tout semblable au premier, correspondant à la plaque sensible 13×18; la distance focale, qui était de $0^m,27$ à $0^m,28$ dans le premier, n'est plus que de $0^m,15$ dans le second, et pour exécuter la construction des plans dans les conditions que nous avons reconnues les meilleures, il faut agrandir les épreuves. Or, en doublant leurs dimensions, on double aussi la distance du point de vue au tableau qui se trouve ramené à la distance habituelle de la vue distincte. D'un autre côté, le champ qui, dans le premier modèle, était seulement de 45° atteint alors l'amplitude de 60°, ce qui est un avantage sensible dans tous les cas.

Photogrammètre. — Cet instrument qui est, comme on le sait, uniquement destiné à obtenir, de stations déjà détermi-

nées, les vues photographiées sur plaques verticales, n'a pas besoin d'une longue description. Les *fig.* 49 et 50 le représentent dans tous ses détails. On y voit (*fig.* 49) que nous avons conservé la partie inférieure du photothéodolite, c'est-

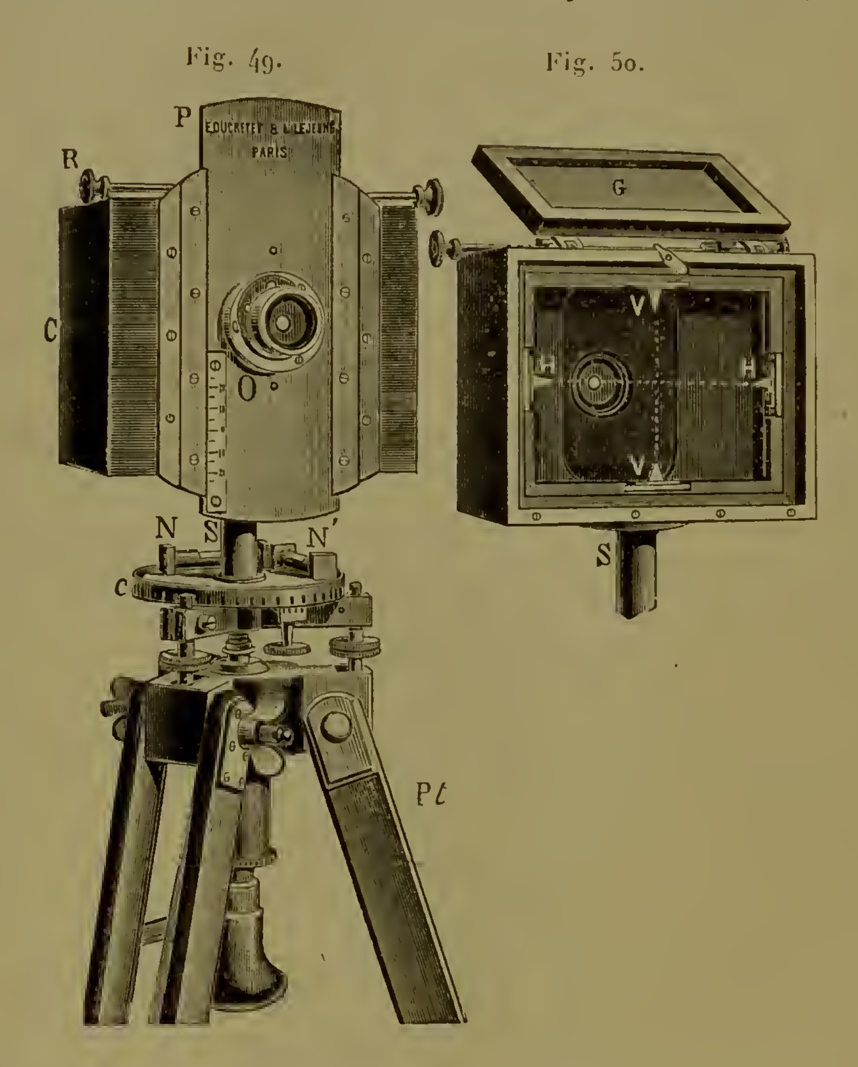


Fig. 49. Fig. 50.

à-dire le cercle azimutal pour l'orientement des épreuves et le système des vis calantes avec deux niveaux en croix pour la mise en station rapide de l'appareil. Nous avons également maintenu le mouvement de coulisse du porte-objectif avec les divisions et le repère nécessaires sur l'un des bords de la platine et sur celui de l'un des coulisseaux.

Enfin, la *fig.* 50 montre la disposition des quatre pointes triangulaires servant au tracé de la ligne d'horizon et du point principal de la perspective.

Les modèles du photogrammètre peuvent varier, dans leurs dimensions, comme ceux du photothéodolite; celui que nous considérons comme le plus convenable à sa destination correspond au format de la plaque sensible de 13 × 18 avec un objectif de $0^m,15$ de distance focale et, par conséquent, un champ angulaire horizontal de 60°.

L'emploi du photogrammètre suppose toujours que l'opérateur a à sa disposition un autre instrument qui peut être un théodolite, un tachéomètre ou une boussole nivellatrice. La distance focale de $0^m,15$ a été adoptée, comme dans le photothéodolite moyen, pour faciliter le transport de l'instrument même dans les pays les plus accidentés. A la vérité, on est obligé, dans ces deux cas, de doubler les dimensions des images, mais les procédés d'agrandissement sont devenus si simples et les résultats en sont si sûrs qu'il n'y a que des avantages à agir ainsi.

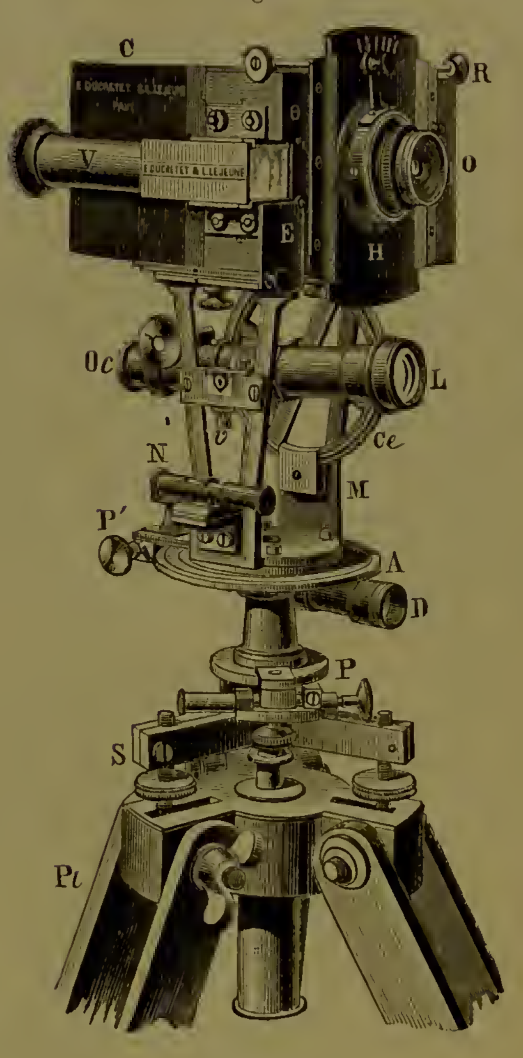
Photothéodolite à lunette centrale destiné aux explorateurs. — Nous avons indiqué plus haut le but que nous nous étions proposé d'atteindre en combinant un théodolite à lunette centrale avec une chambre noire de petites dimensions qui peut lui être superposée ou en être séparée immédiatement.

Le théodolite à lunette centrale est assez souvent désigné sous le nom d'*instrument universel,* et si l'on considère que celui dont il s'agit peut servir à faire des observations astronomiques (hauteurs d'astres à l'aide d'un horizon artificiel et, à la rigueur, observations méridiennes), qu'il comprend, avec sa lunette stadimétrique, un déclinatoire, un viseur explorateur, et peut être complété facultativement par une chambre noire, ce nom lui conviendrait à plus forte raison. Nous n'avons pas cru cependant devoir abandonner celui de *photothéodolite,* qui est désormais consacré par l'usage.

La *fig.* 51, qui représente l'instrument dans son ensemble, et la légende qui l'accompagne suffiront, pensons-nous, à sa description.

La chambre noire porte à l'arrière un magasin à escamotage de 15 plaques sensibles de $6\frac{1}{2} \times 9$; l'objectif aplanétique a

Fig. 51.



LÉGENDE.

Oc L, lunette centrale dont les tourillons reposent sur des coussinets rectifiables (v vis de réglage) portés par des bras en forme de V fermés à la partie supérieure par des traverses qui présentent une large base à la chambre noire C armée de son viseur explorateur V.

Ce, cercle des hauteurs dont l'alidade est entraînée par la lunette dans son mouvement de rotation autour de l'axe horizontal.

M, pince avec vis de pression et de rappel pour l'alidade.

A, cercle azimutal;

P', pince avec vis de pression et de rappel permettant, lorsqu'elle est desserrée, la rotation de l'appareil et de l'alidade autour de l'axe vertical, tandis que le limbe du cercle azimutal reste immobile.

N, niveau à bulle d'air.

P, pince avec vis de pression et de rappel pour le mouvement général de l'appareil autour de son axe vertical, mouvement dans lequel le limbe du cercle azimutal est entraîné.

S, trépied à vis calantes en bronze.

Pi, pied à trois branches en bois.

une distance focale de 7^{mm} et, par conséquent, le champ horizontal des épreuves est de 80° environ.

On peut se contenter d'agrandir les épreuves au format 18×24, ce qui donne la distance du point de vue au tableau, de $0^m,19$ à $0^m,20$ environ, suffisante quand on opère à une petite échelle, comme c'est généralement le cas dans les explorations [1].

---

[1] On doit avoir d'ailleurs un objectif de rechange avec graduation pour la mise au point rapide, quand on a besoin de prendre des photographies de sujets ou de groupes indigènes.

Il convient d'ajouter que les instruments décrits dans ce paragraphe sont construits par la maison Ducretet, à Paris, et peuvent être disposés de manière à permettre la substitution des pellicules aux plaques impressionnables.

APPENDICE AU CHAPITRE III.

Avant de clore ce Chapitre pour entreprendre de faire connaître dans le suivant, d'une manière nécessairement sommaire, les travaux très nombreux des autres personnes qui ont fait faire des progrès à la Métrophotographie ou qui l'ont pratiquée avec succès, on nous permettra de compléter les renseignements que nous avons donnés sur l'historique de cet art, en France, dans le corps du Génie, en revenant sur le rôle de la Télémétrographie pendant le siège de Paris par les Allemands.

Si le problème dont nous nous sommes occupé au § XVI et dont la solution sera rendue plus claire encore par les explications de la Note suivante ne doit être considéré que comme un cas particulier assez rare, l'intérêt qu'il présente, sans pouvoir être comparé à celui de la méthode générale, ne doit être ni ignoré ni négligé par les militaires.

On comprendra notre insistance à ce sujet, si l'on veut bien se souvenir que nos recherches ont été entreprises tout d'abord en vue de faciliter la tâche des officiers chargés de faire des reconnaissances, et se représenter les difficultés que nous avons éprouvées, pendant si longtemps, à rendre attentifs à ces recherches ceux qui auraient dû être les premiers à en tirer parti.

On trouvera d'ailleurs, à la fin du récit suivant, la preuve de la maladresse, pour ne pas dire de la mauvaise foi, de quelques-uns d'entre eux.

Sur le rôle des observatoires militaires pendant le siège de Paris par les armées allemandes.

Il ne m'était pas possible, dans la Note lue devant l'Académie des Sciences, de donner des détails sur l'organisation du service des observatoires militaires pendant le siège de Paris, mais j'ai contracté, à cette époque, des obligations envers un trop grand nombre de personnes pour que je ne saisisse pas l'occasion qui se présente de rendre hommage à leur dévouement. Le lecteur qui voudra bien prendre la peine de parcourir cette courte Notice jusqu'au bout lui trouvera, je l'espère, quelque intérêt, aucun des efforts faits pendant l'Année terrible ne pouvant être indifférent à quiconque aime la France. Il y a ainsi bien des faits ignorés, bien des épisodes touchants que les témoins ne devraient pas laisser tomber dans l'oubli. Peut-être trouverai-je, plus tard, le temps de réunir d'autres souvenirs ; en attendant, je vais essayer de m'acquitter envers un groupe de savants et d'artistes dont les historiens de la défense de Paris ne se sont pas occupés, sans doute parce qu'ils faisaient trop peu de bruit.

Le 20 septembre 1870, le gouverneur de Paris m'ayant confié la mission d'éclairer le commandement sur les mouvements de l'ennemi et sur les travaux qu'il ne manquerait pas d'entreprendre contre les forts et contre la place, je me rendis à l'Observatoire, dont le directeur, M. Delaunay, mit avec empressement à ma disposition son personnel et, parmi les instruments, ceux qui pouvaient s'adapter à nos besoins.

Immédiatement même, nous fîmes une première installation qui devait servir de modèle ailleurs, et nos lunettes commencèrent à explorer la région Sud. A l'autre extrémité de Paris, à Montmartre, un étranger, M. le Dr Gruby, nous offrait un observatoire tout monté d'où nous découvrions la région du Nord et de l'Est (¹).

(¹) Le Dr Gruby était ce célèbre médecin d'origine hongroise, mort récemment (en 1899), dans un âge très avancé et dont la plupart des jour-

Pour compléter notre matériel, je m'adressai à l'École Polytechnique et au Conservatoire des Arts et Métiers, ainsi qu'à la maison Bardou qui, à elle seule, me prêta vingt lunettes terrestres de 54^{mm} à 108^{mm} d'ouverture.

Enfin, je fis appel aux physiciens, aux ingénieurs et j'obtins de M. le général de Chabaud-Latour, mon chef immédiat, qu'un certain nombre d'officiers du Génie fussent attachés, les uns à poste fixe, les autres à titre temporaire, en qualité de commissaires militaires, aux principaux observatoires.

On trouvera à la fin de cette Notice les noms de ces collaborateurs, ainsi que ceux de plusieurs artistes éminents qui ont bien voulu s'associer à nous et qui ont donné à l'œuvre douloureuse que nous poursuivions le charme de leur talent.

J'ajoute que les ingénieurs hydrographes de la Marine, avec qui nous n'avons cessé d'entretenir les meilleures relations et d'échanger des renseignements utiles, avaient choisi, de leur côté, trois monuments élevés, Saint-Sulpice, l'Arc de Triomphe de l'Étoile et la Tour de Solférino, à Montmartre, d'où ils embrassaient un très vaste horizon.

Nos observatoires permanents, au nombre de douze, étaient répartis, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, de manière à ne négliger aucun des points accessibles à la vue. A l'intérieur, nous occupions le Panthéon, l'Observatoire national, la tour des Phares de Chaillot, l'étage le plus élevé d'une maison de Passy, une haute maison à la porte Maillot, près de l'enceinte, et l'observatoire du Dr Gruby; à l'extérieur, nous avions installé des postes qui fonctionnaient régulièrement au Mont-Valérien, aux forts de Romainville et de Nogent, au donjon de Vincennes, dans le clocher de Villejuif, aux forts de Montrouge et d'Issy.

Mais ce n'était pas tout, et plusieurs observateurs étaient détachés sur un grand nombre d'autres points avancés et souvent dans le voisinage immédiat de l'ennemi : à Saint-Ouen, en avant des forts de Saint-Denis, au fort d'Aubervilliers, au

---

naux ont publié la curieuse biographie. Nous avons eu avec lui les relations les plus courtoises, mais il ne s'est jamais occupé de ce que nous faisions dans son observatoire qu'il nous avait livré sans réserve.

plateau d'Avron, aux redoutes de Gravelle et de la Faisanderie, à Créteil, à Vitry (usine Groult), aux forts de Bicêtre et des Hautes-Bruyères.

Les observatoires permanents étaient reliés télégraphiquement entre eux et avec le bureau central. Une instruction détaillée, accompagnée de fragments de cartes portant des indications précises, cartes que l'on orientait à demeure sur une tablette, recommandait aux observateurs de se familiariser avec le paysage et de retrouver sur la carte (¹) les objets qui les frappaient le plus et que l'on pouvait prendre pour repères.

Ces objets étaient rattachés à la station par des lignes de direction tracées sur la carte, à l'aide d'une alidade à lunette, et les observatoires voisins échangeaient des calques de ces rayonnements sur lesquels on avait désigné les repères avec le plus grand soin.

Les avis télégraphiques, donnés d'un observatoire à l'autre, sur les mouvements de troupes ou sur les points où l'ennemi travaillait et que l'on reconnaissait souvent à la teinte jaune ou rougeâtre de la terre remuée, permettaient de déterminer sûrement le lieu de la scène, fût-il à une grande distance. Mais il arrivait aussi qu'un observatoire découvrait ce qu'aucun autre ne pouvait apercevoir, et c'est alors que la méthode télémétrographique devenait précieuse.

Il y avait, dans chaque station principale, indépendamment du commissaire militaire dont le rôle est facile à pressentir, un observateur chef du service, astronome, physicien ou ingénieur, un, souvent deux et jusqu'à trois aides, deux télégraphistes et des plantons pour porter les dépêches écrites.

Le service des observations était fait sans interruption, de jour et de nuit, autant que l'état de l'atmosphère le permettait. Toutes les fois qu'un fait important était signalé, une dépêche télégraphique était expédiée au bureau central, d'où elle était transmise au gouverneur, aux généraux commandants supé-

---

(¹) Il faudrait dire les cartes, car il y en avait une à l'échelle de $\frac{1}{40\,000}$, celle du Dépôt de la Guerre, que tout le monde connaît, et une autre à l'échelle de $\frac{1}{25\,000}$ avec courbes de niveau que j'ai fait rééditer, pendant le siège, en l'étendant, dans la région du Nord, au delà du département de la Seine.

rieurs de l'Artillerie et du Génie et au directeur des observatoires. Tous les matins et tous les soirs, les plantons apportaient un rapport du chef de service, contresigné par le commissaire militaire, résumant ce qui s'était passé pendant les douze dernières heures.

Ces rapports, accompagnés de croquis de plans et de dessins exécutés à la lunette, étaient dépouillés par le directeur qui en faisait une analyse pour le commandement, et les croquis et dessins servaient à la rédaction du plan des attaques qui était ainsi tenu à jour, au fur et à mesure qu'arrivaient les renseignements [1].

Bien que la plupart des savants et des ingénieurs qui faisaient les croquis y missent beaucoup de soin, et quelques-uns une véritable adresse de main, je pensai qu'il serait encore préférable de demander à des artistes exercés de nous faire des vues d'ensemble, des panoramas plus ou moins étendus qui fixeraient d'une manière saisissante, pour les observateurs eux-mêmes, les images qu'ils voyaient partiellement et fugitivement dans leurs lunettes et qui permettraient aux chefs de la défense, qui ne pouvaient pas se transporter dans tous les observatoires, d'acquérir des idées exactes sur ceux des points de l'horizon qui les intéressaient le plus.

Je m'adressai donc à quelques peintres que j'avais l'honneur de connaître, ou avec lesquels je fus mis en relation : MM. Français, Eugène Lambert, Philippoteaux, Chazal, Hirsch et Mouchot.

Je devrais peut-être me contenter de les nommer, si je n'avais à ajouter que ces grands artistes voulurent bien se plier à mes exigences et dessiner, ce qu'ils n'avaient sûrement jamais fait, l'œil à la lunette, *par champs successifs*, c'est-à-dire dans des cercles étroits tracés à l'avance, selon la vue de chacun d'eux, sur une longue bande de papier. Quand leur travail était terminé, ces cercles venant à la file les uns des autres

---

(1) Cette rédaction était faite indépendamment, d'un côté, par M. le capitaine du Génie (depuis général) Petit, sous la direction du chef d'État-major du Génie, le colonel (depuis général) Segretain, et, de l'autre, dans mes bureaux.

formaient autant de précieux médaillons que l'on soudait ensuite les uns aux autres par des remplissages faciles à exécuter, toujours à la lunette.

Il était de mon devoir de rendre hommage au double mérite de ces hommes de talent qui ont bien voulu, par patriotisme, s'astreindre à exécuter un travail de patience et de minutieuse précision, tout à fait en dehors de leurs habitudes.

A côté de ces artistes, je dois citer encore M. Henry, architecte de l'École Polytechnique, qui, de la lanterne du Panthéon, exécutait, avec une puissante lunette, des aquarelles merveilleusement exactes (*voy.* le spécimen *fig.* 35), enfin M. Maxime Collignon, alors élève à l'École Normale ([1]), qui a accompli, avec une rare habileté et une persévérance au-dessus de tout éloge, le travail de ce genre le plus considérable qui ait été entrepris : le panorama qui se déroulait au sud du clocher de Villejuif, sur le plateau entre Seine et Bièvre (voir *Pl. X*). C'était ce côté de la ceinture qui nous étreignait que j'avais supposé devoir être rompu pour donner la main à l'armée de la Loire. Aussi avais-je tout fait pour hâter ce remarquable travail que je portai, dans le courant de novembre, au gouverneur de Paris, avec le tracé des lignes allemandes, figuré sur un fragment du plan des environs de Paris, à l'échelle de $\frac{1}{5000}$, dont plusieurs feuilles avaient été exécutées par des élèves de l'École Normale, sous la direction de M. Levasseur, membre de l'Institut, qui m'accompagnait dans cette visite. Malheureusement, les projets du commandement étaient différents, et j'ignore même si les renseignements précis que nous avions fournis ont été communiqués à ceux qui dirigèrent la fausse attaque sur l'Hay, le jour de la bataille de Champigny.

J'aurais bien d'autres réflexions à présenter, à propos du rôle des observatoires militaires, mais ce ne serait peut-être pas le lieu, et je veux en ce moment ne songer qu'à mes collaborateurs, dont voici la liste :

Commissaires militaires : MM. le lieutenant-colonel Lebeurriée, le lieutenant-colonel Hamel, le lieutenant-colonel

---

([1]) Aujourd'hui membre de l'Académie des Inscriptions et Belles-Lettres.

Lévy, le lieutenant-colonel Bovet, le commandant Oudot, le commandant Ratheau, le commandant Revin, le commandant Faure, le commandant Castel, le capitaine Javary (en même temps chef du service des observations à Montmartre), et le garde du Génie Galibardy.

Astronomes et physiciens : MM. Lœwy, Gaillot, Folain, Périgaud, Paul et Prosper Henry, Lévy, Sonrel, Moureaux, Capitaneano (de l'Observatoire de Paris), Maurat, Brion, Fernet, professeurs de Physique, Maxime Collignon, Maxime Cornu et Branly, élèves à l'École Normale.

Ingénieurs, artistes de précision et volontaires de professions diverses : MM. Vuignier, Henry, architecte, Guéroult, Delaunay fils, Lemoine, Chevallier, Chauvet, Janssen (Eugène), Bardou fils, Richepance, Cauche (Victor), Briou.

J'ai le regret de ne pouvoir pas donner les noms des marins qui nous ont aidé, partout où ils se trouvaient, et notamment à Villejuif, où la lunette a été brisée par un projectile, à côté du maître d'équipage qui était de quart, et à Romainville, d'où les renseignements étaient donnés avec une régularité et une précision tout à fait remarquables.

Des nombreux télégraphistes qui nous ont également rendu les meilleurs services, je n'ai retrouvé que les noms de MM. Pâris et de Beauchamp, attachés à l'observatoire des Phares.

Enfin mes auxiliaires immédiats, aussi bien dans le bureau qu'à l'extérieur, je pourrais dire mes aides de camp, étaient MM. Alfred Tresca, Alvès [1] et l'adjudant du Génie (depuis capitaine) Luthard.

Après cet exposé des services rendus par le télémétrographe, il semblerait que le téléiconographe de M. Revoil fût

---

(1) M. Alvès, mon préparateur au Conservatoire des Arts et Métiers, était un dessinateur très habile et très instruit. C'était lui qui relevait sur les croquis et les panoramas les renseignements journaliers pour les rapporter sur les plans aux échelles de $\frac{1}{25000}$, de $\frac{1}{10000}$ et même de $\frac{1}{5000}$, dont il a été question plus haut. Nous n'avons retrouvé, après la Commune, que la minute de la Carte à $\frac{1}{25000}$.

bien définitivement distancé et dût être même oublié, car il est à remarquer que Viollet-le-Duc, nommé colonel du Génie auxiliaire pendant le siège de Paris, ne s'avisa jamais de se servir de l'instrument de son confrère.

Et cependant, quelques années plus tard, le célèbre architecte, devenu géologue, dans ses *Études sur le mont Blanc*, publiait une série de dessins agrandis exécutés, disait-il, dans sa Préface, avec le téléiconographe imaginé par son ami Revoil, sans faire la moindre allusion aux communications que nous lui avions faites en 1868, à l'École Polytechnique, et sans paraître se douter d'ailleurs de l'usage qui venait d'être fait du télémétrographe sur une si grande échelle.

Cet oubli ou cette ignorance du grand artiste, qui se laissait évidemment influencer par l'esprit de corps, pouvait s'expliquer à la rigueur, et nous avouons qu'en les constatant dans une séance de la Société de Géographie où Viollet-le-Duc était venu exposer ses dessins du mont Blanc, nous n'avions pas cru devoir lui faire le chagrin d'apporter les vues lavées à l'encre de Chine de Philippoteaux et les aquarelles de Lambert, de Mouchot, de Chazal, etc., qui, en dépit de son grand talent, eussent fait pâlir ses croquis au simple trait (1); ni donner les renseignements assez fâcheux pour lui qui figurent ici avec toutes les preuves à l'appui.

A la vérité, nous étions alors bien loin de nous douter de ce qui allait se passer dans le corps même du Génie, auquel nous appartenions, et notre patience allait être mise à une plus rude épreuve encore.

Dans le n° 24 du *Mémorial de l'Officier du Génie*, année 1875, dans ce recueil où nous avions publié, plus de vingt ans auparavant, nos premières études et le principe même du télémétrographe (en omettant seulement de baptiser l'instrument), paraissait une Note accompagnée de dessins, très bien exécutés d'ailleurs, par un tout jeune officier que l'on avait

(1) Nous allons offrir au Musée Carnavalet neuf des vues panoramiques exécutées pendant le siège de Paris et retrouvées après la Commune. La comparaison de ces véritables tableaux avec les croquis de Viollet-le-Duc dans ses *Études sur le mont Blanc* sera donc facile à faire pour tout le monde (Juillet 1900).

chargé d'expérimenter, au camp de Châlons, un téléiconographe acquis par l'École régimentaire du Génie de Versailles, et d'un commentaire demandé au colonel Goulier. L'auteur des dessins était tout à fait pardonnable d'ignorer l'histoire de cet instrument, mais il n'en était pas de même de l'éditeur responsable du Recueil, ni surtout du commentateur de la Note.

Sans nous arrêter à l'oubli volontaire ou involontaire d'un camarade avec lequel nous n'avions jamais cessé d'entretenir les relations les plus cordiales, passons tout de suite aux conclusions auxquelles était arrivé le savant officier dont les opinions avaient tant d'autorité :

« Le téléiconographe, disait-il, ne semble pas se prêter aisément à l'exécution de levers au moyen des perspectives qu'il fournirait. Les constructions graphiques à faire pour la rédaction du plan seraient difficiles, *eu égard aux grandes dimensions du rayon de la sphère ou du cylindre* auquel devrait être rapportée la perspective; de plus, pour obtenir des intersections convenables sur le plan, il faudrait opérer sur le terrain, de stations très éloignées les unes des autres, qu'il ne serait possible de rattacher entre elles que par des opérations topographiques compliquées. »

Il est à peine croyable que l'opérateur si exercé qui a prononcé cette condamnation du téléiconographe ou plutôt du télémétrographe (car il s'agissait bien décidement de Topographie géométrique à laquelle M. Revoil n'avait jamais songé, de son propre aveu), même s'il avait ignoré, il faudrait plutôt dire oublié, l'expérience faite pendant le siège de Paris, ne se soit avisé d'aucune de ces deux idées si simples, savoir : premièrement, qu'en faisant varier le grossissement, on n'avait pas toujours affaire à des panoramas d'un si grand rayon, et, en second lieu, qu'il pouvait se présenter des circonstances où les stations très éloignées les unes des autres se trouvaient déterminées à l'avance, ce qui était précisément le cas des observatoires militaires de la défense de Paris.

Mais le colonel Goulier, dont le mérite était universellement reconnu, avait une faiblesse trop commune, malheureusement : celle de critiquer tout d'abord les idées qui n'étaient pas les

siennes, sauf à y revenir, à les accommoder et finalement dans bien des cas à se les approprier.

C'est ce qui lui est arrivé précisément au sujet de la chambre claire et du télémétrographe dont il était si peu partisan en 1875 et dont il s'occupait avec le plus grand intérêt quelques années plus tard, en 1878, comme on va le voir.

A l'occasion de l'Exposition universelle de cette même année 1878, le Dépôt des fortifications l'avait chargé de présenter dans les deux classes XV et XVI tout ce qui pourrait faire honneur au corps du Génie. Or, en parcourant le Catalogue de cette exposition spéciale composée d'instruments et de dessins topographiques (*voy.* la Brochure intitulée: *Notices sur les objets exposés par le Dépôt des fortifications dans la classe XV, Instruments de précision; et dans la classe XVI, Géographie.* Paris, imprimerie de A. Quantin, 1878), on ne trouve ni les chambres noires topographiques qui avaient figuré au Champ-de-Mars en 1867, avec plusieurs des résultats obtenus par le commandant Laussedat et le capitaine Javary (entre autres, le beau plan de la position de Faverges concédé au Conservatoire des Arts et Métiers où il est exposé aujourd'hui), ni la chambre claire hémi-périscopique qui a été le point de départ de toutes les recherches et de tous les travaux dont nous nous sommes occupé dans ce Chapitre III et dont nous nous occuperons dans le Chapitre suivant, ni enfin aucune des vues panoramiques dessinées au télémétrographe pendant le siège de Paris, dont il eût été si naturel de nous demander quelques spécimens.

Mais on y trouve en revanche : la *chambre claire à planchette inclinée,* la *chambre claire mégaloptique* toujours à *planchette inclinée,* la *chambre claire pour longue-vue,* du colonel Goulier, et le *périgraphe instantané,* du colonel Mangin.

Selon Goulier, il serait beaucoup plus facile de dessiner sur une planchette inclinée de 18° que sur une planchette horizontale. Cela est déjà un peu enfantin (¹) et ne justifierait, en

---

(¹) Et même inadmissible, par exemple si l'on se place en face d'un monument pour en dessiner une vue sur laquelle les verticales deviendraient des lignes convergentes.

aucune façon, le procédé que nous signalons. Nous pouvons affirmer, au surplus, que nous n'avons jamais éprouvé la moindre fatigue en nous servant pendant de longues années d'une planchette horizontale qui doit à cette position bien déterminée les propriétés essentielles que l'on connaît.

Mais là où l'auteur dépasse peut-être les limites du sérieux, c'est quand il prétend avoir rendu l'*emploi de la chambre claire plus facile dans les intérieurs sombres?* (*Voy.* la Notice citée, p. 44.)

La seule concession que nous ait faite Goulier, la seule fois qu'il ait cité notre nom, cela a été pour reconnaître qu'il nous avait emprunté la *creusure en forme de demi-calotte sphérique* de la face supérieure du prisme de la chambre claire, *creusure* que, pour une fois et dans le but de rendre hommage à l'illustre Wollaston, nous avions qualifiée d'*hémi-périscopique*. Pourquoi cette épithète, dont l'étymologie est très claire et très significative, n'a-t-elle pas trouvé grâce devant un inventeur, à qui, on l'a vu, l'usage, on peut dire l'abus, du grec était au moins aussi familier qu'à Porro lui-même? Nous l'ignorons, mais ce que nous savons bien, c'est qu'il n'y avait absolument rien de nouveau dans sa chambre claire à planchette inclinée... que l'inclinaison de la planchette.

Pour les deux autres instruments, c'est le même procédé d'élimination par substitution.

Dans le premier, une légère modification a été apportée à la disposition de la chambre claire appelée *mégaloptique* et même brevetée (S. G. D. G.), toujours d'après la Notice citée, mais l'usage auquel il est destiné ne diffère en rien de celui qui est nettement indiqué dans le n° 16 du *Mémorial de l'Officier du Génie* et dans le *Magasin pittoresque* de 1861, où l'on peut voir qu'il n'est nullement question de l'emploi d'une lunette de Galilée, comme l'insinue Goulier sans nous nommer. « C'est, dit-il, la solution d'un problème qui avait été résolu d'une manière bien imparfaite par l'association du prisme de Wollaston avec une lunette de Galilée [1]. »

---

[1] Dans le premier instrument construit par Froment en 1850 nous avions adapté une petite lunette astronomique et nous dessinions les images

Quant à l'autre instrument, c'est-à-dire la *chambre claire pour longue-vue,* qu'il compare au téléiconographe, sans paraître se douter de ce qui a été fait pendant le siège de Paris, il cherche plus loin et arrive à découvrir que l'Anglais R.-P. Bate avait présenté, dès 1809, une chambre claire au-devant de l'oculaire d'une lunette, et il ne voit pas dès lors pourquoi il n'aurait pas le droit d'en faire autant. Si nous avions eu plus tôt connaissance de la Notice de Goulier qui ne nous est tombée sous les yeux que tout récemment [1], nous aurions pu rappeler à son auteur qu'aussitôt imaginée en 1804, la chambre claire avait été adaptée au télescope et au microscope. Mais personne, que nous sachions, ne s'était avisé de s'en servir pour effectuer des mesures topographiques et personne n'avait publié avant nous des *champs de lunette* ayant cette destination prévue et précise qui exigeait des soins particuliers dont ni R.-P. Bate ni MM. Revoil et Viollet-le-Duc ne s'étaient inquiétés.

Nous sommes en droit, dans tous les cas, de trouver étrange que les trois instruments du colonel Goulier eussent été exposés à l'exclusion des nôtres qui avaient peut-être le droit de figurer parmi ceux qui faisaient honneur au corps du Génie. Mais ce n'est pas tout, et il nous reste un dernier trait à ajouter à ce tableau peu édifiant.

On avait donc aussi exposé le périgraphe instantané du colonel Mangin; rien de plus juste et de plus naturel, et nous avions été le premier à faire ressortir l'ingéniosité de l'invention que son auteur nous avait demandé de présenter, cette même année 1878, au Congrès de l'Association française pour l'avancement des Sciences.

Seulement on avait négligé, comme nous l'avons vu, la *chambre noire topographique* (c'est-à-dire le *photothéodolite* construit par Brunner et dont il existait cinq exemplaires dans

---

renversées; plus tard, nous avons employé exclusivement des lunettes terrestres, et jamais nous ne nous sommes servi de la lunette de Galilée.

[1] Nous connaissions déjà plusieurs autres emprunts plus ou moins habilement déguisés de Goulier, faits à différents inventeurs qu'il s'abstenait le plus souvent de nommer, mais nous avouons que la lecture de cette Notice nous a surpris et affligé tout à la fois; elle dépassait décidément la mesure.

les écoles régimentaires, à l'École d'application et au Dépôt des fortifications), ainsi que les résultats remarquables dont plusieurs avaient figuré à l'Exposition universelle de 1867. Était-ce à cause de cela? On ne pouvait le soutenir, car le Catalogue de 1878 renfermait bien d'autres objets qui avaient été déjà exposés.

Comment expliquer d'ailleurs que l'on eût exclu également ceux qui avaient été obtenus postérieurement par la brigade Javary-Galibardy, lesquels ne pouvaient être ignorés de Goulier, puisqu'ils venaient d'être publiés, en 1873, dans le n° 22 du *Mémorial de l'Officier du Génie* et qu'ils mettaient hors de doute l'efficacité et les avantages de la méthode.

Nous touchons ici précisément au point le plus délicat de la question, celui qui se rattache à l'anéantissement prémédité de cette méthode devenue insupportable à ceux dont elle menaçait de troubler les habitudes en même temps que de compromettre l'infaillibilité, car ils avaient toujours prédit que la Photographie ne donnerait aucun résultat sérieux. Aussi avait-on commencé par supprimer la brigade et l'on espérait bien passer l'éponge sur tout ce qu'elle avait fait. Le périgraphe instantané dont on savait qu'il ne serait jamais fait un usage courant et qui, par conséquent, n'était pas à craindre, venait d'ailleurs à propos pour faire oublier, écarter la méthode apparemment trop naïve de Beautemps-Beaupré devenue la nôtre.

Ce n'est pas là, comme on pourrait être tenté de le croire, une simple supposition qu'il serait permis d'attribuer à notre mauvaise humeur, fort excusable, après tout. Non, et l'on peut voir, dans le *Livre d'or du Centenaire de l'École Polytechnique,* une Notice, écrite par l'un des personnages les plus en vue parmi les élèves et les successeurs de Goulier, sur les *progrès de la Topographie dus aux officiers du Génie sortis de cette École,* dans laquelle, à propos des applications de la Photographie à cet art, le périgraphe instantané est seul cité comme ayant atteint le but.

S'il existait à Paris un tribunal des réformateurs des études comme celui de Padoue au XVIIe siècle (¹), nous lui demande-

(¹) *Voir* tome I de ces *Recherches,* note de la page 95.

rions simplement de condamner l'auteur de cette Notice : 1° à contempler sans distraction, pendant un certain temps, les anamorphoses produites par le périgraphe instantané, et ce serait déjà un assez joli supplice pour des yeux délicats (voir *Pl. XV*); et 2° à en déduire les formes du terrain ou à donner sa langue aux chats. C'est infailliblement à ce dernier parti qu'il s'arrêterait, et l'on aurait ce spectacle d'un topographe de carrière, compromis par sa littérature, obligé d'avouer qu'il a parlé des applications de la Photographie au lever des plans comme Balthazar Capra parlait des polyèdres réguliers [1]!

Eh bien, en dépit de cette hostilité sourde, persistante, inexplicable, à moins qu'elle ne soit trop facile à expliquer, la MÉTROPHOTOGRAPHIE, fondée sur les principes les plus simples de la *perspective naturelle*, n'en a pas moins fait son chemin, car, ainsi qu'on le verra au Chapitre IV, on peut en suivre aujourd'hui la trace du Spitzberg et de l'Alaska à la Nouvelle-Galles du Sud, du Brésil, du Chili et du Mexique à la Mandchourie, à la Chine et sans doute au Japon, en traversant tous les pays civilisés et nombre de leurs colonies.

En cherchant bien, on la rencontre même sous le patronage plus ou moins officiel du Service géographique de l'Armée (dans lequel des éléments jeunes et dégagés des préjugés d'un autre âge se sont apparemment introduits), à Madagascar et ailleurs.

C'est indirectement et assez récemment que ce dernier détail est parvenu à notre connaissance, et si nous regrettons de n'avoir pas été consultés, M. le Commandant Javary et nous-même, comme cela eût été si naturel, ne fût-ce que par déférence pour les vétérans qui ont ouvert la voie, l'essentiel pour nous étant que le charme soit rompu, nous nous tenons pour satisfaits.

Nous espérons que le lecteur nous excusera de lui avoir fait perdre son temps à prendre connaissance de quelques-

---

(1) *Voir*, dans les OEuvres complètes de Galilée, la *Difesa di Galileo Galilei contra alle calunnie ed imposture di Baldessar Capra*, etc.

unes des petites contrariétés que nous avons subies. Il aura sans aucun doute fait cette réflexion que nous ne sommes pas seul dans ce cas, la plupart de ceux qui osent innover s'exposant à la contradiction... en attendant la contrefaçon.

Qu'il veuille donc bien nous pardonner néanmoins si, après cinquante années de luttes, nous nous sommes laissé aller à un peu de vivacité dans l'expression de nos revendications, trop légitimes.

TABLE DES MATIÈRES

DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME SECOND.

CHAPITRE III.

Iconométrie et Métrophotographie.

CONSIDÉRATIONS ET NOTIONS PRÉLIMINAIRES. PRÉCÉDENTS HISTORIQUES.

Méthodes.

Instruments.

THÉORIE, DESCRIPTION ET USAGE DE LA CHAMBRE CLAIRE.

Métrophotographie.

APPENDICE AU CHAPITRE III.

PLANCHES.

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME SECOND.

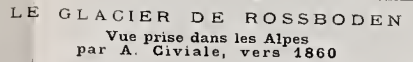
27589. — Paris. Imprimerie Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

Archipel de Santa Cruz
levé par Beautemps-Beaupré par la méthode des perspectives.



Archipel de Santa Cruz
levé par le capitaine Carteret par les anciennes méthodes.





LE GLACIER DE ROSSBODEN

Vue prise dans les Alpes
par A. Civiale, vers 1860

EPREUVE ORIGINALE DE 30 × 40 SUR PAPIER CIRÉ



Première épreuve photographique obtenue en aérostat (1858)

Au-dessus de l'avenue d'Eylau alors avenue de St-Cloud

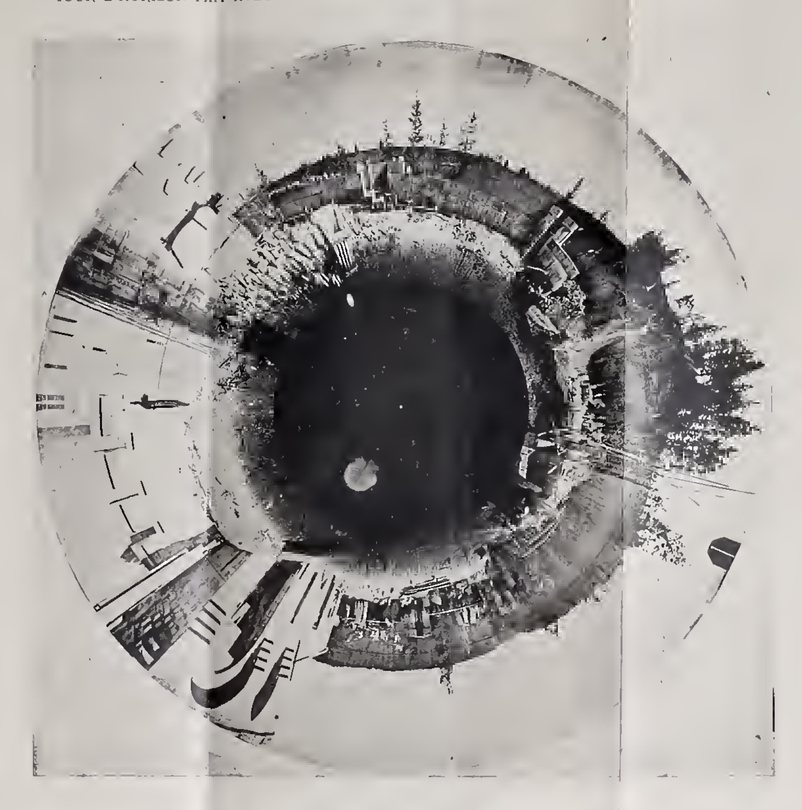
par NADAR



PANORAMA DES ENVIRONS DE METZ

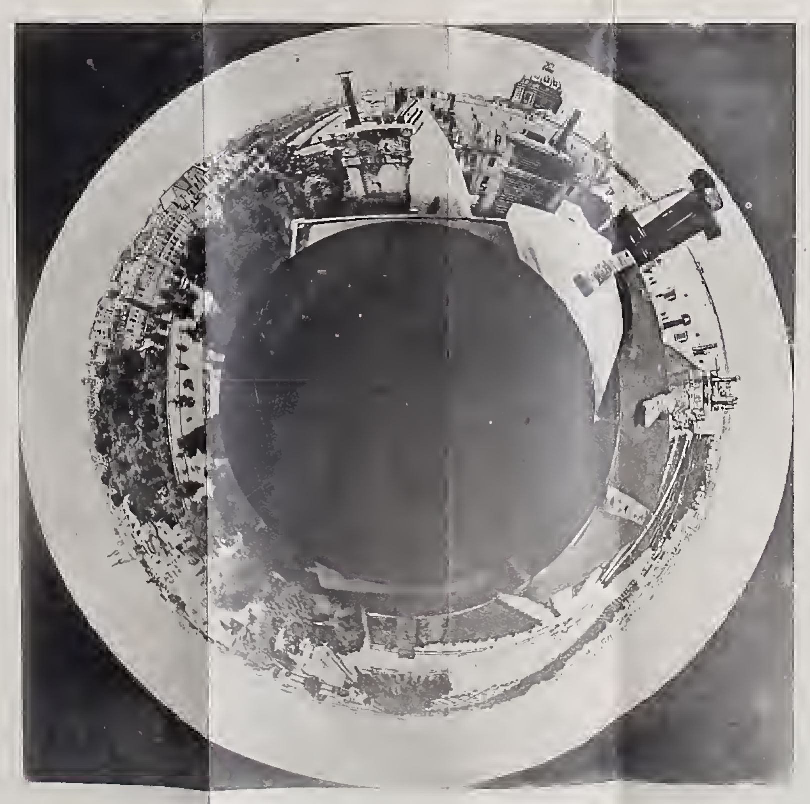
Dessiné par Bardin

TOUR D'HORIZON FAIT AVEC LA PLANCHETTE PHOTOGRAPHIQUE DU DOCTEUR CHEVALLIER

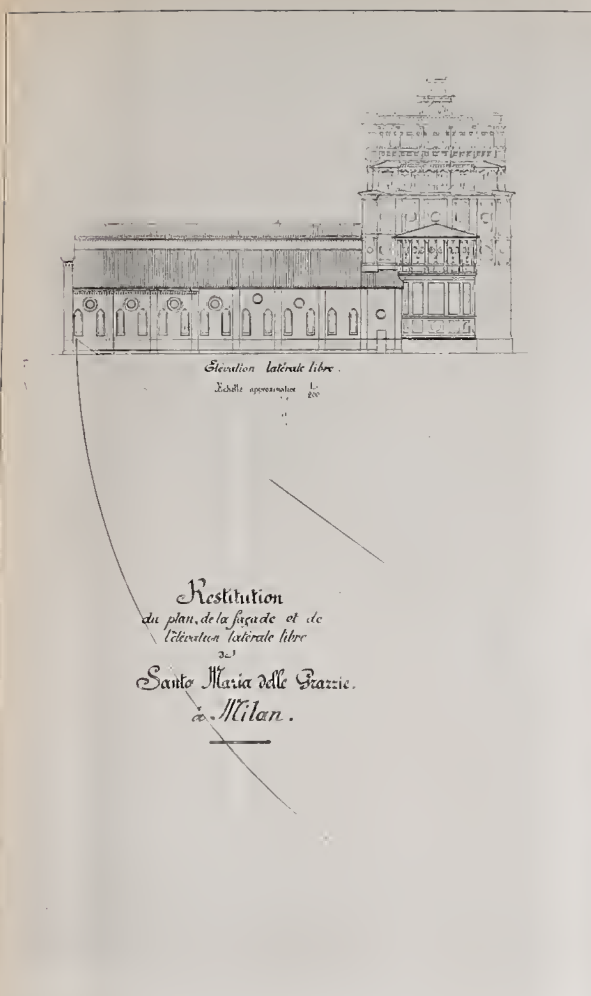


CHATEAU DE PIERREFONDS

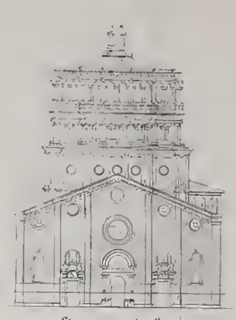
TOUR D'HORIZON FAIT AVEC LE PERIGRAPHE INSTANTANE DU COLONEL MANGIN

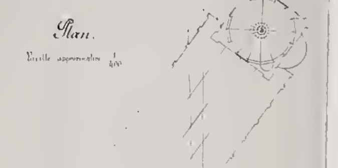


DOME DES INVALIDES & ENVIRONS

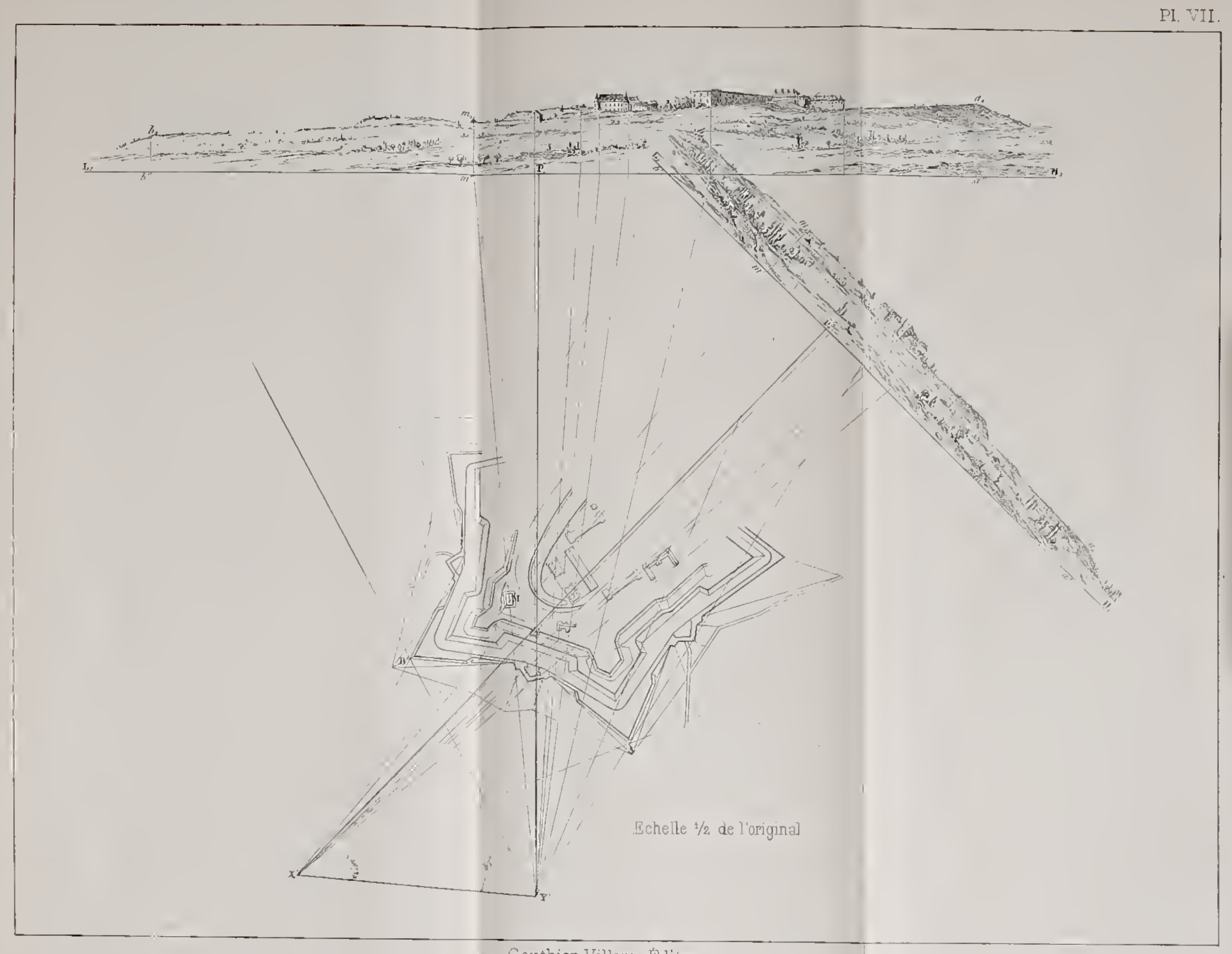




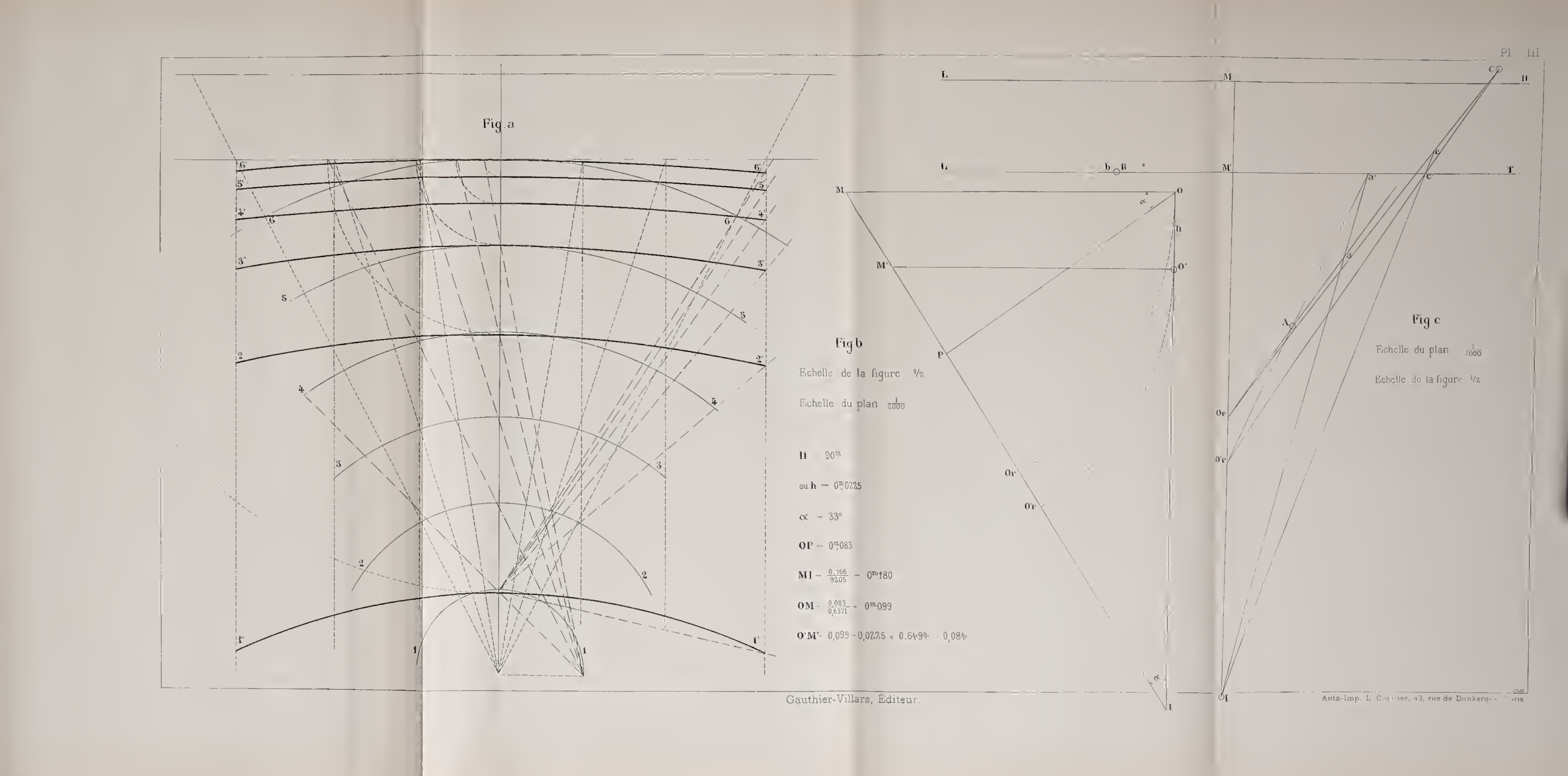




ECHELLE 1/3 DE L'ORIGINAL



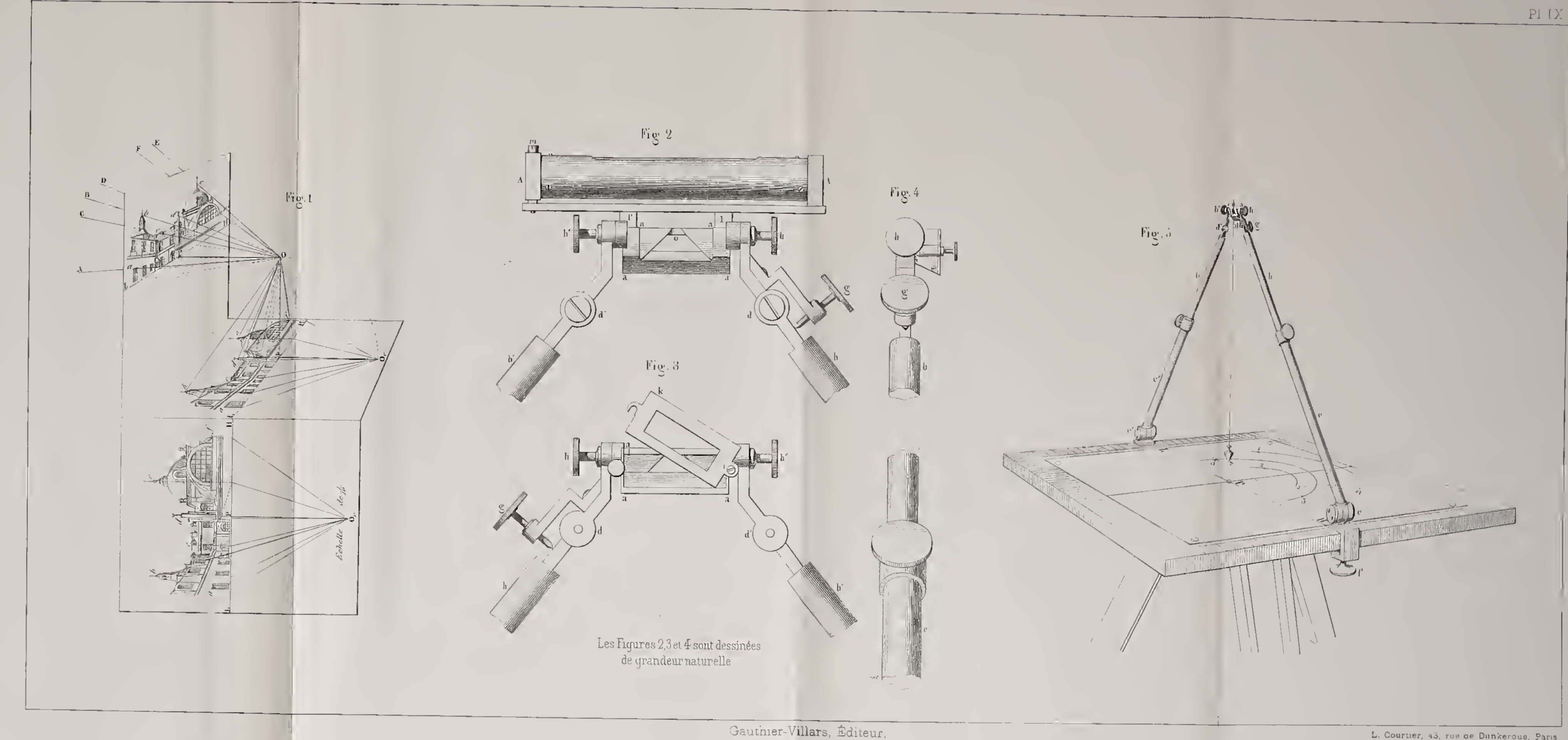
Gauthier-Villars, Éditeur.



Gauthier-Villars, Éditeur.

Auto-Imp. L. Co[illegible], 43, rue de Dunkerque, Paris

Pl. IX.



Gauthier-Villars, Éditeur.

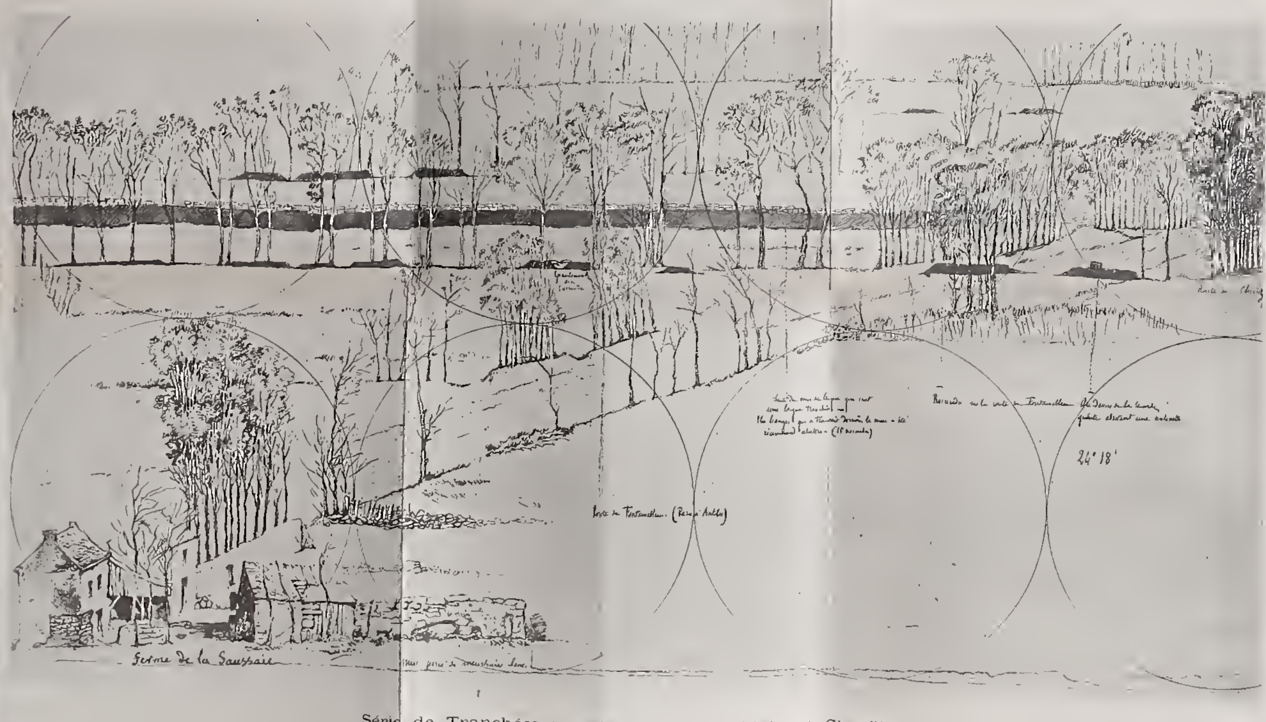
L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris

PARTIE DU PANORAMA
compris entre la vallée de la Seine et la vallée de la Bièvre, près de l'observatoire du clocher de Villejuif,
pendant le siège de Paris par les Allemands,
dessiné par M. Max Collignon, au Telémétrographe.



Murs crénelés et abatis entre Choisy-le-Roi et Thiais

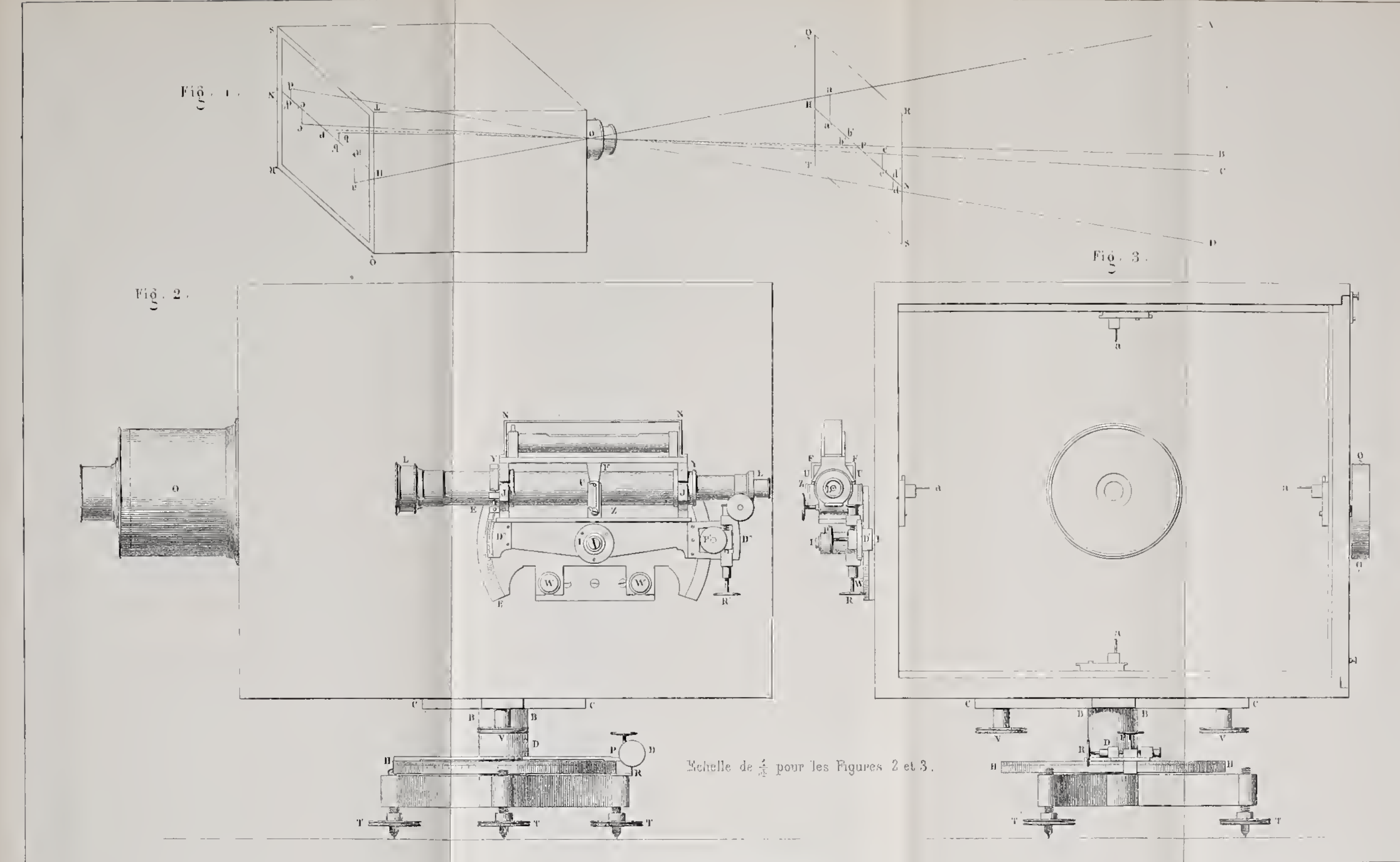
Echelle de $\frac{1}{2,5}$ de l'original



Série de Tranchées prussiennes entre Thiais et Chevilly

sur les deux routes de Choisy-le-Roi à Versailles et au-delà, coupant la route de Paris à Antibes

Echelle de $\frac{1}{2,5}$ de l'original



Gauthier-Villars, Éditeur

L. Courtier, 43, rue de Dunkerque, Paris



CE PLAN REPRÉSENTE LE VILLAGE DE BUC, PRÈS VERSAILLES, ET SON ÉCHELLE ORIGINALE ÉTAIT DE $\frac{1}{2000}$

Plan de Sainte-Marie-aux-Mines et des environs, levé en 1867 par la méthode des perspectives.

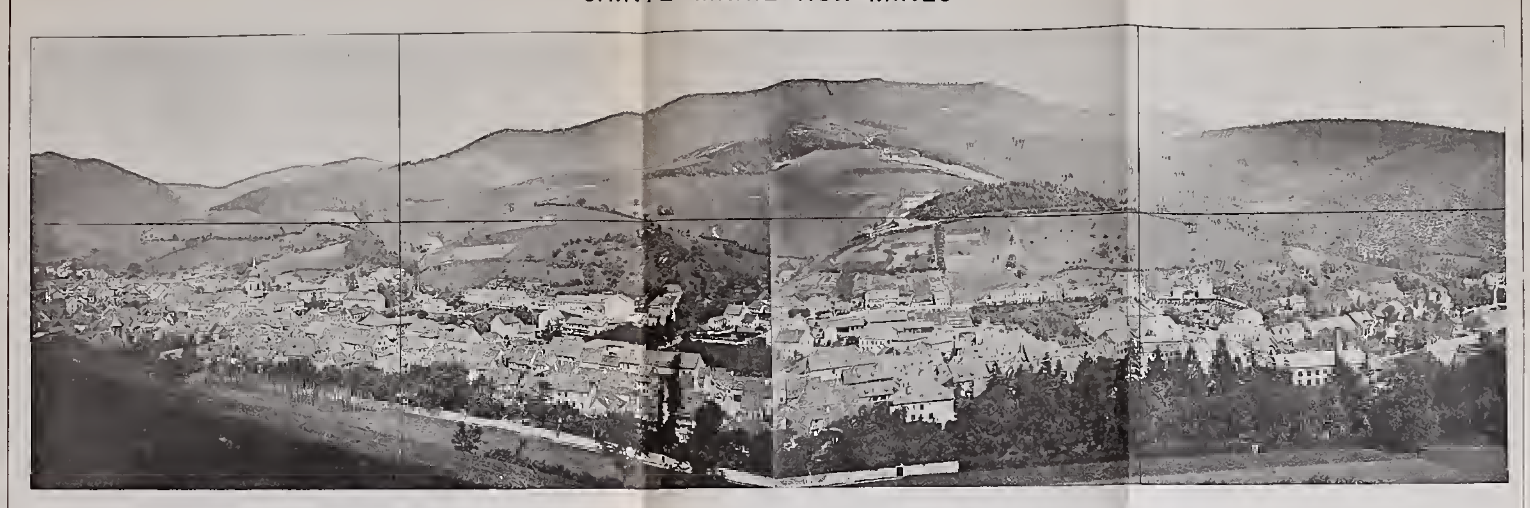


Échelle de l'original $\frac{1}{5000}$ réduite à $\frac{1}{20000}$

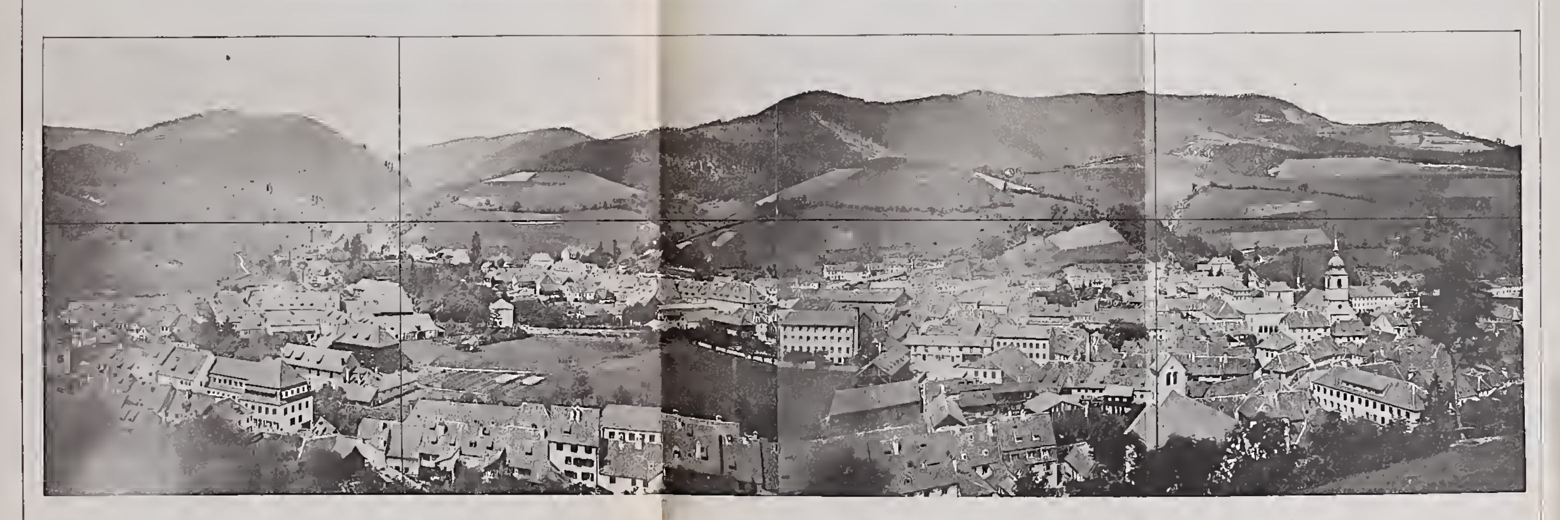
Opérateurs : MM. le ... Javary et le Garde du Génie Galibardy. Durée des opérations ...

52 photographies 20×30 prises de 31 stations dont 18 triangulées et 13 rattachées. Superficie ... kilomètres carrés.

SAINTE-MARIE-AUX-MINES



Panorama pris du point auxiliaire au N. E. de la station 1 sur la pente descendant à Sainte-Marie-aux-Mines



Panorama pris du point auxiliaire entre les stations 2 et 3.



Panorama pris de la station 5 (*Croix des Missions*).

SIÉGE DE PARIS
vue prise de l'observatoire militaire de montmartre



1. — Batterie prussienne d'Orgemont.
2, 3, 4. — Ouvrages défensifs.
5, 6. — Coupures au bord de la Seine.
7. — Clocher de Gennevilliers.
8. — Moulin d'Orgemont.
9. — Moulins de Sannois.
10. — Maison servant de poste aux Prussiens.
11. — Pont du Chemin de fer d'Argenteuil.
12. — Carrières d'Orgemont.

13, 14, 10. — Route d'Argenteuil à Deuil.
11, 15, 5, 6, 16. — La Seine.
17, 18, 19. — La Seine.
17. — Gare de Saint-Ouen.
20. — Château de Gennevilliers.
21 à 27. — Barricades entre St-Ouen et Clichy.
28 à 33. — Enceinte fortifiée.
34. — Poste-Caserne.

ÉCHELLE DE 1/2

